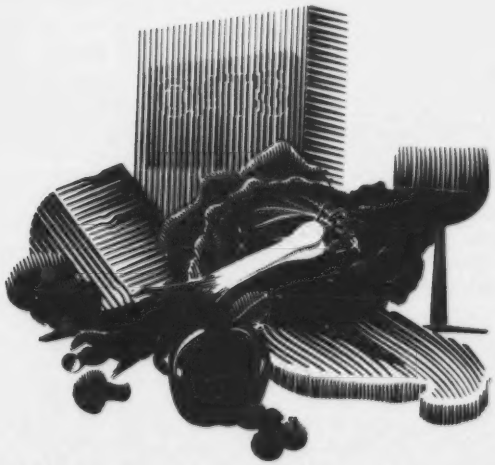
Méthodes d'analyse sensorielle des aliments en laboratoire

Agriculture Canada

Méthodes d'analyse sensorielle des aliments en laboratoire

Linda M. Poste,[1] Deborah A. Mackie,[1]
Gail Butler,[2] et Elizabeth Larmond[3]

[1] Centre de recherches alimentaires
Agriculture Canada
[2] Service aux programmes de recherches,
Agriculture Canada
[3] Laboratoire de recherches sur les grains
Commission canadienne des grains



Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Publication 1864/F
1991

92-02661/

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1991

En vente au Canada par
l'entremise des librairies associées
et autres libraires
ou par la poste auprès du

Centre d'édition du Groupe Communication Canada
OTTAWA, K1A 0S9

N° de cat. A73-1864/1991F
ISBN 0-660-93229-6

Cette publication remplace la publication 1637 *Méthodes d'appréciation sensorielle des aliments en laboratoire*

Donnée de catalogue avant publication

Laboratory methods for sensory analysis of food
Linda M. Poste ... [et al.].

(Publication ; 1864/E)

Rev. ed. of: Laboratory methods for sensory evaluation of food / Elizabeth Larmond.
Includes bibliographical references.

Cat. no. A 73-1864/1991E
ISBN 0-660-13807-7

1. Food–Sensory evaluation. I. Poste, Linda M.
II. Canada. Agriculture Canada. III. Larmond, Elizabeth. Laboratory methods for sensory evaluation of food.
IV. Series: Publication (Canada. Agriculture Canada). English ; 1864/E.

TP372.5L3 1991 664'.07 C91-099103-0

Production du Service aux programmes de recherches

Also available in English under the title
Laboratory methods for sensory analysis of food

Révision-rédaction : Normand Rousseau

Table des matières

Préface vi

Remerciements vii

Introduction 1

Facteurs influant sur les mesures sensorielles 2
L'erreur d'anticipation 2
L'erreur de stimulus 2
L'erreur de logique 2
L'indulgence 3
L'effet de halo 3
La suggestion 3
L'erreur de position ou d'ordre 3
Les effets de contraste et de convergence 3
L'erreur de proximité 4
La peur des pointages extrêmes 4
Motivation 4

Installations 5
Locaux 5
Local de formation 8
Salle de préparation et de service 9

Préparation des échantillons 10
Dilution et matière de support 10
Température de présentation 11
Ustensiles et récipients 11
Grosseur des portions 12
Nombre d'échantillons 12
Échantillons de référence 12
Codage 13
Ordre de présentation 13
Rinçage 13
Renseignements sur l'échantillon 14
Heure du jour 14

Sélection et formation des dégustateurs 14
Critères de sélection 14
  Santé 15
  Intérêt 15
  Disponibilité et ponctualité 15
  Communications verbales 15
Sélection et tri 16
Formation 17

Plan d'expérience 17
Échantillons 17
Hypothèses à vérifier 17
Ampleur de l'expérience 18
Groupage 19
Répartition au hasard 19

Essais statistiques 20

Méthodes des essais d'analyse sensorielle 21

Essais de discrimination 21
Essai triangulaire 22
Essai duo–trio 24
Essai deux-sur-cinq 25
Comparaison par paires 27
Essai de Friedman pour les données classées 29

Essais descriptifs 32
Méthodes d'échelle 32
Échelle graduée ou catégorielle 32
Échelle non graduée 36
Essai de Tukey 41
Échelle non graduée avec répétitions 42
Essai de Dunnett 49
Échelle de variations relatives 50
Méthodes d'analyse descriptive 55
Profil de la flaveur 56
Profil de la texture 58
Analyse descriptive quantitative 60
Jury du Centre de recherches sur les aliments 62

Essais subjectifs 66
Mesure de la préférence par comparaison par paires 67
Échelle hédonique 69
Essai de classement 72

Rapport d'analyse sensorielle 74
Titre 75
Résumé ou synopsis 75
Introduction 75
Méthode expérimentale 75
Résultats et discussion 76
Conclusions 79
Références 79

Références 80

Annexes 83

Table statistique 1 Table de répartition au hasard, permutations de neuf chiffres 84

Table statistique 2 Essai triangulaire, table de probabilités, essai unilatéral 86

Table statistique 3 Essai avec deux échantillons, table de probabilités, essai bilatéral 87

Table statistique 4 Essai avec deux échantillons, table de probabilités, essai unilatéral 88

Table statistique 5 Essai deux-sur-cinq χ^2 89

Table statistique 6 Khi au carré, χ^2, points en pourcentage 90

Table statistique 7 Intervalle notable obtenu de la loi t de Student au niveau de 5 % 91

Table statistique 8 Distribution de t 92

Table statistique 9 Rapport des variances—5 points du pourcentage de distribution de F 93

Rapport des variances—1 point du pourcentage de distribution de F 94

Table statistique 10 Tableau du t pour l' essai unilatéral de Dunnett 95

Table statistique 11 Tableau du t pour l' essai bilatéral de Dunnett 96

Préface

Cette révision de la publication intitulée *Méthodes d'appréciation sensorielle des aliments en laboratoire* témoigne des progrès et des modifications survenus depuis la première édition en 1967 et sa révision en 1977.

Étant donné que cette publication est constamment en demande, notamment comme moyen didactique et aussi comme document de référence dans les petites entreprises aux compétences techniques limitées, on a jugé qu'il était temps d'en faire une nouvelle version.

Cette mise à jour et cette révision doivent beaucoup à trois jeunes chercheures qui dirigent l'équipe chargée des analyses sensorielles à Agriculture Canada, Ottawa. Ce fut un plaisir pour moi de travailler avec elles et de constater que la relève est excellente dans ce domaine.

Cette édition qui conserve sa formule de guide et de recueil de prescriptions renvoie le lecteur à quelques-uns des meilleurs auteurs qui traitent des principes dont s'inspirent les pratiques recommandées dans ces pages.

Elizabeth Larmond

Remerciements

Nous remercions John Wiley and Sons, Inc., qui nous a permis de reproduire en partie les *Tables de permutations aléatoires* (table statistique 1) d'*Experimental designs*, de William G. Cochran et Gertrude M. Cox, 1957. Nous aimerions également remercier l'*Institute of Food Technologists*, qui nous a autorisées à reproduire les tables statistiques 2, 3 et 4 du *Journal of Food Science* 43(3):942-943, d'E.B. Roessler, R.M. Pangborn, J.L. Sidel et H. Stone (tous droits réservés par l'*Institute of Food Technologists*). Nous n'oublions pas CRC Press Inc., qui nous a autorisées à reproduire la table T5 (table statistique 6) de *Sensory analysis techniques, Volume II*, de M. Meilgaard, G. Vance Civille et Thomas B. Carr, 1987. Nous sommes reconnaissantes aux presses universitaires de l'Université d'État de l'Iowa, à Ames, de la permission de reproduire les tables statistiques 7 et 8 de *Statistical methods* de George W. Snedecor et William G. Cochran, 8e édition, 1989. Nous remercions également l'exécuteur testamentaire de feu Sir Ronald A. Fisher, F.R.S., de Cambridge, Frank Yates, F.R.S., de Rothamstead et MM. Oliver et Boyd Ltd., d'Édimbourg, qui nous ont autorisées à reproduire en partie la table V (table statistique 9) de *Statistical tables for biological, agricultural, and medical research* (6e édition, 1974). Nous remercions également la *Biometric Society*, qui nous a autorisées à reproduire les tables statistiques 10 et 11. Nous tenons également à remercier Diversified Research Laboratories Limited de Toronto de nous avoir donné la permission d'utiliser la photo de leurs installations (fig. 1). Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux et celles qui nous ont conseillées et qui ont collaboré avec nous à la préparation de cet ouvrage de même qu'à J.J. Powers, M. McDaniel et B.K. Thompson, qui ont révisé le manuscrit. Enfin, nous exprimons nos remerciements et notre gratitude les plus sincères à Mme Josiane Obas pour avoir tapé ce manuscrit.

Introduction

Selon l'*Institute of Food Technologists* (1975), l'analyse sensorielle consiste « à susciter, à mesurer, à analyser et à interpréter scientifiquement les réactions à des caractéristiques d'aliments et de matières perçues par les sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouie ». La sensation complexe qui résulte de l'interaction de nos sens sert à mesurer la qualité des aliments, par exemple la vérification de la qualité ou la mise au point de produits. Cette mesure peut être confiée à un jury restreint ou nombreux (plusieurs centaines de dégustateurs), selon les renseignements qu'on lui demande.

La première analyse sensorielle et la plus simple est effectuée en laboratoire par le chercheur qui crée un produit ou met au point un protocole de vérification de la qualité. Les chercheurs se fient à leur propre évaluation pour cerner des différences brutes entre les produits. L'analyse sensorielle se déroule à un niveau plus officiel, à l'aide de jurys constitués d'employés de laboratoire et de consommateurs.

Seuls, des êtres humains peuvent évaluer d'une façon précise, complète et efficace, la plupart des caractéristiques sensorielles des aliments. On continue de faire des progrès dans la mise au point de méthodes instrumentales qui permettent de mesurer des facteurs particuliers de qualité. Au fur et à mesure, les données des analyses sensorielles sont mises en corrélation avec les résultats afin de déterminer la capacité de prédiction de ces derniers et dernières.

Lorsqu'on se sert d'êtres humains comme instruments de mesure, il faut maîtriser rigoureusement toutes les méthodes et toutes les conditions expérimentales afin de prévenir les erreurs attribuables à des causes psychologiques. Ici, « erreur » n'est pas synonyme de faute ou de maladresse. C'est plutôt une notion qui englobe tous les types d'influences extérieures. En effet, l'état physique et mental des dégustateurs ou évaluateurs et l'influence du milieu ambiant influent sur les réactions sensorielles.

Les jurys peuvent se répartir en quatre groupes : les experts; les jurys de laboratoire qui possèdent une certaine formation; les jurys d'acceptation en laboratoire et les grands jurys de consommateurs.

Les jurys d'experts (jusqu'à trois dégustateurs) évaluent la qualité à un degré très élevé de précision et de constance dans les jugements, par exemple les dégustateurs de vin, de thé et de café. Leurs évaluations ainsi que celles des jurys de laboratoire peuvent aider à la vérification, à l'orientation de la mise au point d'un produit et à son amélioration ainsi qu'à l'évaluation de sa qualité. Les jurys de laboratoire (de 10 à 20 dégustateurs) possédant une certaine formation peuvent être particulièrement utiles à l'évaluation de la variation des caractéristiques d'un produit pour lesquelles on ne possède aucun instrument satisfaisant. Les analyses sensorielles des jurys d'acceptation de laboratoire (de 25 à 50 dégustateurs) permettent de prédire les réactions des consommateurs à un

produit. Enfin, les gros jurys de consommateurs (plus de 100 dégustateurs) servent à déterminer la réaction des consommateurs à un produit.

Facteurs influant sur les mesures sensorielles

C'est pour réduire au minimum ou limiter l'influence des facteurs psychologiques et physiques sur le jugement que l'on a mis au point des méthodes normalisées de préparation et de réalisation des analyses sensorielles. On comprendra mieux la nécessité de cette normalisation si on fait la description de certains de ces facteurs et si on indique les moyens de les neutraliser ou de les supprimer.

L'erreur d'anticipation

Tout renseignement reçu par le dégustateur peut influer sur les résultats. Comme, habituellement, les gens trouvent ce qu'ils s'attendent de découvrir, il ne faut divulguer au jury que ce qui suffit à l'analyse. Retrancher du jury les personnes directement mêlées à l'expérience. Attribuer aux échantillons un code indéchiffrable, qui, lui-même, ne devrait pas induire en erreur. Comme le chiffre « 1 » ou la lettre « A » dénotent pour beaucoup le summum de qualité, il vaut mieux utiliser des nombres de trois chiffres choisis au hasard.

L'erreur de stimulus

Parce qu'ils veulent donner la bonne réponse, les dégustateurs peuvent être influencés par des caractéristiques qui ne font pas l'objet de l'évaluation. Par exemple, le dégustateur, à qui on demande s'il y a une différence de goût sucré entre deux échantillons d'oreillons de pêches, pourra s'accrocher à tous les indices possibles : grosseur uniforme des oreillons; différence de couleur, de fermeté. C'est pourquoi, tous les échantillons doivent être le plus uniformes possible. Il faut masquer toute différence entre les échantillons.

L'erreur de logique

Étroitement reliée à l'erreur de stimulus, l'erreur de logique incite à donner un pointage à des caractéristiques qui semblent logiquement reliées à d'autres caractéristiques. Ainsi, le jaune pâle de pommes de terre déshydratées pourrait être un signe d'oxydation et amener le dégustateur à trouver un goût différent à l'échantillon. Prévenir cette erreur en maintenant l'uniformité des échantillons et en masquant les différences.

L'indulgence

C'est l'erreur des dégustateurs qui se laissent guider par leurs sentiments personnels à l'égard du chercheur, ce qui leur fait négliger les différences entre les produits. Effectuer en conséquence les analyses sensorielles de façon rigoureuse et professionnelle.

L'effet de halo

Il se manifeste lorsqu'on évalue plus d'une caractéristique à la fois. En effet, le dégustateur se forme souvent une impression générale lorsqu'on lui demande d'évaluer en même temps l'odeur, la texture, la couleur et le goût d'un produit. Les résultats peuvent différer de ceux de l'évaluation d'une seule caractéristique à la fois. En effet, l'évaluation d'un facteur influe sur celle du suivant. Par exemple, un échantillon sec de viande paraîtra plus coriace que si l'on avait uniquement évalué sa tendreté. Si les moyens le permettent, supprimer cette cause d'erreur en n'évaluant qu'une seule caractéristique à la fois.

La suggestion

Comme les réactions des autres membres du jury peuvent influencer la réponse d'un dégustateur, il faut séparer chaque dégustateur en l'installant dans une cabine individuelle. Interdire les conversations durant les analyses afin de supprimer les influences mutuelles. Supprimer les causes de bruit et de distraction dans la salle d'évaluation et séparer cette dernière de la salle de préparation.

L'erreur de position ou d'ordre

Cette erreur explique que, souvent, le deuxième produit évalué reçoive une note plus élevée ou plus basse que prévu, peu importe ses qualités réelles. On l'a mise en évidence dans l'évaluation triangulaire particulièrement : lorsque, entre les échantillons, il n'existe aucune différence réelle, c'est l'échantillon médian qui est généralement retenu comme étant différent. Prévenir cette erreur en répartissant les échantillons d'une façon égale ou au hasard. Dans une petite expérience, équilibrer l'ordre de présentation pour s'assurer que toutes les permutations possibles se présentent un nombre égal de fois. S'il s'agit d'une évaluation de plusieurs échantillons, il vaut mieux les répartir au hasard.

Les effets de contraste et de convergence

L'effet de contraste se manifeste entre deux produits présentant des différences tranchées : les dégustateurs exagéreront souvent ces différences. Par exemple, si un échantillon très sucré précède un

échantillon légèrement sucré, ce dernier recevra un pointage de goût sucré inférieur à celui qui lui serait normalement attribué. La réciproque est également vraie.

L'effet de convergence est le contraire de l'effet de contraste. Une grande différence entre deux ou plusieurs produits peut masquer de petites différences entre d'autres échantillons, ce qui amène la convergence des pointages. Pour corriger ces deux effets en les neutralisant, faire en sorte que l'ordre de présentation des échantillons à chaque dégustateur soit aléatoire.

L'erreur de proximité

Lorsque l'évaluation porte sur plusieurs caractéristiques, les caractéristiques qui se suivent sur la fiche d'évaluation reçoivent habituellement des cotes moins dispersées que les caractéristiques isolées ou les caractéristiques éloignées les unes des autres. Ainsi, la corrélation entre les caractéristiques groupées peut être supérieure à la corrélation de caractéristiques dispersées. Prévenir cette erreur en énumérant les caractéristiques de façon aléatoire sur la fiche d'évaluation ou en ne faisant porter l'évaluation que sur une caractéristique à la fois.

La peur des pointages extrêmes

C'est l'erreur qui consiste à donner un pointage médian à un produit, de façon à éviter les extrêmes. Les produits semblent donc plus semblables qu'ils ne le sont en réalité. L'erreur est plus susceptible de survenir si les dégustateurs connaissent mal le produit ou la méthode d'évaluation. Pour l'éviter, permuter l'ordre de présentation ou le rendre aléatoire, l'erreur étant plus prononcée pour le premier échantillon. Habituer les jurys aux produits et à la méthode d'évaluation.

Motivation

La motivation influe sur la perception sensorielle. Une personne intéressée est toujours plus efficace et plus fiable. L'intérêt est essentiel à l'apprentissage et à la performance. Maintenir l'intérêt de chaque dégustateur en lui communiquant l'évaluation de ses résultats. Les dégustateurs bien formés sont généralement plus motivés que ceux qui ne le sont pas (Ellis, 1961). Il faut convaincre les dégustateurs que leur évaluation est importante en procédant vous-même d'une façon rigoureuse et efficace.

Installations

Locaux

L'analyse sensorielle exige des locaux spéciaux, les mêmes pour tous les essais, où les causes de distraction sont réduites au minimum et dont les conditions sont déterminées (fig. 1). Au stade de la conception, il faut tenir compte du soutien administratif, de l'emplacement, des besoins d'espace, des questions d'ambiance, de la construction, des coûts ainsi que de la conception du laboratoire (*American Society for Testing and Materials*, 1986). Chaque type d'analyse, les analyses discriminatoires et descriptives, les groupes de discussion, les jurys de consommateurs par exemple, exige des modifications à la conception des installations. Les conditions d'ambiance devraient assurer la tranquillité, le confort, y compris le conditionnement de l'air et un chauffage constant à 22 °C. Pour l'analyse de certains produits, il faut un degré d'humidité réglé à 44 ou 45 % d'h.r. (*American Society for Testing and Materials*, 1986).

La plupart des types d'analyse, sauf la détermination du profil, exigent une réponse indépendante de chaque dégustateur. À cette fin, la salle d'évaluation est dotée de cabines individuelles contiguës à une salle distincte de préparation des échantillons et de service. Les cabines peuvent consister en de simples cloisons reposant sur une table ou à charnières, de façon à s'escamoter lorsque la paillasse du laboratoire sert à d'autres fins. L'*American Society for Testing and Materials* (ASTM) (1986) a recommandé pour ces cabines une largeur de 70 et 80 cm, une profondeur de 45 et 55 cm et une hauteur, pour le plan de travail, de 75 cm (fig. 2). La méthode habituelle de construction est d'installer les cabines le long du mur qui sépare la salle d'évaluation de la salle de préparation. Si les plans de travail (des deux salles) se trouvent à la même hauteur, on peut faire passer

Fig. 1 Local d'analyse sensorielle (Diversified Research Laboratories Ltd.)

le produit directement de l'une à l'autre, aux dégustateurs, par un guichet ou un passe-plat de type tambour (fig. 3). Construire tous les murs et toutes les cabines d'un matériau opaque, non réfléchissant, de couleur neutre (blanc cassé, blanc, gris pâle), facile à nettoyer et, idéalement, faire en sorte que les cloisons dépassent le rebord du plan de travail de 40 cm. La salle de préparation devrait être interdite aux dégustateurs, pour ne pas que ceux-ci obtiennent de renseignements sur les échantillons qui pourraient les influencer.

Fig. 2 Dégustateur avec ses échantillons et une fiche d'évaluation

La cabine peut être plus ou moins rudimentaire, selon les ressources disponibles, la nature des produits évalués ainsi que le type d'analyse ou de jury nécessaire. Beaucoup de laboratoires équipent chaque cabine d'un évier et d'un robinet intégrés pour cracher l'échantillon et se rincer la bouche. Nous ne recommandons pas d'éviers pour l'analyse des aliments et des boissons parce que, si leur entretien laisse à désirer, des problèmes d'odeur et de salubrité peuvent survenir (Ellis, 1961). Parfois, le bruit est une nuisance. Des éviers étant souvent nécessaires pour l'évaluation des produits d'hygiène personnelle, nous recommandons le type à aspiration, comme celui qu'utilisent les dentistes. Il n'est pas recommandé de doter la cabine d'un robinet pour le rinçage, la température de l'eau étant difficile à régler. Il est généralement à conseiller de verser l'eau bien avant le début des analyses de sorte qu'elle se trouvera à la température ambiante. Ce peut être de l'eau du robinet, de l'eau de source embouteillée ou de l'eau distillée. Certaines analyses exigent des miroirs, des prises électriques ou des plaques chauffantes.

Il faut imaginer une méthode de communication entre les dégustateurs et le chercheur. Dans certains laboratoires, le dégustateur signale qu'il est prêt en actionnant un commutateur qui, de sa cabine, allume une lumière dans la salle de préparation. Une autre méthode consiste à faire passer une étiquette portant le nom du dégustateur par le guichet ou à mettre à la disposition du dégustateur un clavier relié à un ordinateur.

S'assurer que l'éclairage est uniforme et n'influe pas sur l'apparence du produit. Choisir soigneusement le type de lumière si la couleur et l'apparence du produit sont des caractéristiques importantes d'évaluation.

Fig. 3 Présentation de l'échantillon par un guichet à tambour

L'*American Society for Testing and Materials* (1986) recommande un éclairage incandescent et fluorescent dont l'intensité va d'environ 753 à près de 1 184 lux. Installer un rhéostat si l'on veut faire varier l'intensité de l'éclairage. L'Organisation internationale de normalisation (ISO) (1985) recommande des lumières d'une température de couleur proximale de 5 000 à 6 500 K. Pour éliminer les différences de couleur entre les échantillons, on utilise parfois des lumières colorées, rouges, vertes ou bleues le plus souvent. Ces lumières ne sont pas particulièrement efficaces, parce que les différences de nuance ou de profondeur de la couleur restent observables. Amerine *et al.* (1965) ont fait observer que l'on ignore l'effet d'une lumière colorée ou atténuée sur le jugement. Elle pourrait avoir moins d'effet sur les dégustateurs expérimentés qui y sont habitués, tandis que les novices répugnent à travailler sous éclairage coloré. Au laboratoire du Centre de recherches alimentaires, des dégustateurs ont un sentiment de claustrophobie lorsqu'ils pénètrent dans un local à éclairage coloré. Une évaluation faite dans ces conditions serait contestable. Une autre façon de masquer les différences de couleur est de recourir à un éclairage au sodium.

Protéger la salle d'évaluation des odeurs étrangères ainsi que des odeurs de la salle de préparation des aliments. Interdire en tout temps le tabagisme et éviter les cosmétiques. Le comité E-18 de l'Évaluation sensorielle de l'équipement et des produits de l'*American Society for Testing and Materials*, (1986) a recommandé, pour empêcher que les odeurs des locaux contigus ne pénètrent dans la salle d'évaluation, que celle-ci soit maintenue sous une légère pression positive. Ce comité a également recommandé l'emploi de filtres à charbon actif dans les gaines d'admission de l'air; ces filtres ont besoin d'être changés ou réactivés régulièrement.

Local de formation

Un local doit être prévu pour former les jurys à l'analyse descriptive ou la détermination du profil (fig. 4). Idéalement, ce local est séparé de la salle de préparation et lui est contigu, si l'espace le permet. Souvent, il fait partie de la salle d'évaluation. Une grande table ronde, autour de laquelle 6 à 12 personnes peuvent prendre place, permet les échanges entre les stagiaires. Un plateau rotatif central, pour la circulation des étalons ou des échantillons de référence, est très utile. S'assurer que l'éclairage et la ventilation correspondent à ceux de la salle d'évaluation et que les meubles, les couvre-sols et les murs sont de couleur neutre, inodores et faciles à nettoyer. Pour faciliter la discussion, installer un tableau, à fond noir ou blanc, ou, encore, à feuilles volantes, tout en étant attentif à l'odeur libérée par certains feutres. Enfin, installer une horloge bien en vue pour permettre au chef du jury de respecter l'horaire prévu pour la formation.

Fig. 4 Local de formation

Salle de préparation et de service

Ce local et son matériel dépendent de la nature des produits évalués. On commence par une cuisine bien équipée, puis on ajoute le matériel spécialisé au fur et à mesure des besoins. Doter cette salle d'un bon système de ventilation qui supprime les odeurs ainsi que d'un conditionneur d'air pour la bonne régulation de la température. On ne saurait trop insister sur la nécessité de plans de travail d'une étendue suffisante pour servir et assembler les échantillons à présenter à l'analyse ainsi que d'un espace de rangement également suffisant. Prévoir aussi des réfrigérateurs et des congélateurs pour conserver et garder les échantillons. Au besoin, pour stocker de plus gros volumes, se servir de réfrigérateurs et de congélateurs situés dans d'autres locaux. S'il faut réchauffer ou faire cuire les échantillons, doter la salle de brûleurs à gaz ou électriques (les brûleurs doivent être de la même grosseur), ainsi que de fours (par exemple, traditionnels, à convection, à micro-ondes). On pourra également avoir besoin de bains-marie, de plaques chauffantes, d'enceintes à ambiance contrôlée, de trancheuses, de balances, de lampes chauffantes, de mélangeurs, de distributeurs d'eau embouteillée et d'extincteurs. Pour le nettoyage, on pourra doter la salle de préparation de lave-vaisselles, de broyeurs d'évier, de compacteurs à déchets, de poubelles, d'éviers et de robinets. Quant à l'équipement, il faut tenir compte, entre autres facteurs, des coûts initiaux, de la qualité, du service après-vente, de l'espace et de l'installation, de la facilité de nettoyage, du bruit et des odeurs produites. Choisir, pour la construction de la salle de préparation, des matériaux de couleur neutre, qui ne sont pas réfléchissants comme le verre et les glaces, difficiles à garder propres. Les revêtements et les carreaux de vinyle

conviennent aux murs et aux sols, le stratifié aux armoires et aux dessus de comptoirs. Songer à doter la salle de préparation d'un téléphone, pour appeler les dégustateurs en retard. Nous ne recommandons cependant pas le téléphone dans la salle d'évaluation, car la sonnerie peut distraire.

Préparation des échantillons

Une évaluation préliminaire est habituellement nécessaire pour déterminer la méthode de préparation : dégel, préparation, durée de cuisson, matériel et ustensiles. Pour les essais de discrimination, choisir la méthode de préparation qui n'est pas susceptible de masquer les caractéristiques du produit, ni d'y ajouter quelque chose ou de les changer. Pour l'analyse subjective, préparer le produit au moyen d'une méthode typique ou représentative de la façon dont il est effectivement préparé et consommé.

Rester fidèle à la méthode choisie durant toute l'évaluation du produit. La méthode de préparation ne doit pas conférer de saveurs ni d'odeurs étrangères au produit. Les échantillons doivent être représentatifs du produit ou de la matière. Préparer tous les échantillons au même moment ou au cours d'une expérience donnée et les servir en se conformant exactement à la même marche à suivre, sauf pour ce qui concerne le ou les facteurs à l'étude.

Les dégustateurs sont influencés par des caractéristiques qui n'ont rien à avoir avec les échantillons. S'efforcer, donc, de préparer des échantillons différents de la même façon pour masquer les différences sans importance. À cette fin, il faudra peut-être trancher les échantillons, les couper en dés, les réduire en petites particules ou en purée afin d'en uniformiser la présentation.

Pour les analyses subjectives, il vaut mieux présenter un échantillon à la fois plutôt que de réduire en petites particules ou en purée le produit afin de masquer les différences. Comme nous l'avons dit, les différences de couleur sont parfois masquées par un éclairage de couleur ou atténué. Des récipients colorés, comme les gobelets rouge rubis ou les tasses dont l'intérieur est noir cachent les différences de couleur. À cette fin, on a aussi utilisé des colorants dépourvus de goût.

Dilution et matière de support

Certains produits, par leur nature, ont besoin d'être dilués ou d'être présentés avec support. Par exemple, les épices, les assaisonnements et les sauces, y compris les sauces très piquantes, exigent habituellement d'être dilués avant d'être dégustés. Les épices peuvent être mélangées dans une sauce ou un sirop fade, mais il faut tenir compte de l'effet de ces préparations sur la flaveur. Par exemple, plusieurs chercheurs ont montré que les hydrocolloïdes exerçaient un effet de masquage (Marshall et Vaisey, 1972; Pangborn et Szczesniak, 1974).

Certains produits comme les garnitures fouettées, le fromage à tartiner et le ketchup n'ont pas besoin d'être dilués dans des matières de support (Kroll et Pilgrim, 1961). Les auteurs précités ont observé que, dans certains cas, pour la discrimination, il valait mieux s'en passer. Les matières de support, par exemple des craquelins pour la confiture ou des saucisses fumées pour le ketchup, augmentent les coûts et la somme de travail, et en plus il est souvent difficile d'en choisir une qui soit convenable. Ces matières sont également la cause d'erreurs expérimentales parce que le rapport quantitatif entre le produit et la matière de support peut ne pas être constant ou, encore, cette dernière peut ne pas être d'une qualité constante.

Parfois, par sa nature, le produit peut exiger d'être évalué avec une matière de support durant une partie des essais. Ainsi en est-il des garnitures à tarte (servies avec la pâte pour connaître l'interaction des deux, notamment pour ce qui est de la texture) et du glaçage à gâteau (non seulement pour examiner la combinaison des flaveurs, mais également pour voir comment le glaçage se comporte).

Température de présentation

Elle peut souvent faire problème. Pour les essais d'acceptation, servir les échantillons à la température habituelle de consommation.

Toutefois, dans les essais de discrimination ou descriptifs, il faut la modifier puisque la perception ou l'acuité de la saveur atteignent leur maximum entre 20 et 40 °C. Durant toute l'expérience, la température doit rester constante pour que les résultats soient comparables. À cette fin, se servir de réchauds équipés d'un thermostat, de bains d'eau chaude, de gobelets de styromousse, de sable chauffé, de bains-marie ou envelopper le produit d'une feuille métallique. Si les échantillons doivent être gardés pour une durée quelconque de temps, veuillez à ce qu'ils ne s'assèchent pas ou à ce que leur qualité ne s'altère pas entre-temps. Par exemple, ne pas couper d'échantillons de viande avant qu'elle ne soit prête à servir, à défaut de quoi les portions s'assécheront, ce qui influera sur les résultats de l'analyse sensorielle.

Ustensiles et récipients

Les ustensiles ne devraient modifier ni la saveur ni l'odeur du produit. Pour chaque échantillon, se servir de récipients identiques, de sorte qu'aucune erreur ne soit causée par ce facteur. À moins qu'on ne cherche à masquer des différences de couleur, il est sage d'employer des récipients blancs ou incolores. Choisir les récipients en fonction de certains facteurs : facilité du codage, type de produit, température de présentation. Des assiettes à usage unique, en plastique dur, de carton non paraffiné ou de styromousse sont pratiques lorsqu'on sert plusieurs personnes. Avant l'évaluation, prener les mesures nécessaires pour qu'aucune saveur ne soit transmise au produit. Le verre est un excellent matériau. Toutefois, au lavage et au rinçage, il faut

s'assurer que les produits ou le savon ne laissent aucune saveur ni odeur. Le verre peut aussi se briser.

Grosseur des portions

Elle est souvent limitée par la quantité de matières dont on dispose pour l'expérience. Même petite, la portion devrait représenter le produit. Même une petite portion devrait donner le loisir à chaque dégustateur de goûter et, si nécessaire, de regoûter le produit. Durant l'évaluation, faire en sorte que la portion reste constante. Avec un échantillon de référence, nous recommandons de servir une portion deux fois plus grosse que l'échantillon expérimental pour que le dégustateur puisse y regoûter.

Le comité E-18 de l'*American Society for Testing and Materials*, (1968) a recommandé que, dans les essais de discrimination, chaque dégustateur reçoive au moins 16 mL de liquide et 28 g de solide et que, dans les essais d'acceptation, ces quantités soient doublées. Dans certains essais, on a demandé aux dégustateurs de consommer une portion normale. Par exemple, au cours d'études de l'acceptabilité d'un lait aromatisé, on a demandé aux dégustateurs d'en boire 190 mL avant de se prononcer sur son acceptabilité. Un produit de cette nature pourrait être très agréable à boire en petite quantité (30 mL), mais 190 mL peuvent se révéler trop sucrés ou trop rassasiants.

Nombre d'échantillons

Déterminer selon les indices fournis par les dégustateurs au cours de séances préliminaires le nombre d'échantillons que l'on peut efficacement évaluer au cours d'une séance. Outre la nature du produit, tenir compte du nombre de caractéristiques à évaluer, de la nature de l'évaluation ainsi que de l'expérience des dégustateurs, mais, également, de leur motivation. Le nombre d'échantillons que l'on peut présenter en une séance est déterminé par la fatigue sensorielle et mentale du dégustateur (Meilgaard *et al.*, 1987*a*).

Échantillons de référence

La présentation d'un ou de plusieurs échantillons connus ou marqués peut aider les dégustateurs à porter un jugement et peut atténuer les écarts d'évaluation. Par exemple, si l'on ne peut présenter tous les échantillons en même temps, il peut être utile d'utiliser un échantillon de référence. Ce dernier doit être le même à chaque jour de la durée de l'expérience et peut servir de point de référence pour les barèmes ou les échelles d'évaluation. Un échantillon de référence présenté sous forme d'échantillon codé sert à vérifier la constance d'un dégustateur.

Codage

Le codage des échantillons ne devrait donner aux dégustateurs aucun indice de la nature des traitements subis et ne devrait pas, en lui-même, induire en erreur. Nous recommandons des codes à trois chiffres, choisis à l'aide de tables de répartition au hasard. Un exemple de ce genre de table est présenté en annexe (table statistique 1). À partir de n'importe quelle colonne et rangée de la table, et en se déplaçant horizontalement ou verticalement, choisir trois chiffres consécutifs. Si l'expérience est répétée, les dégustateurs sont habituellement les mêmes, ce qui exige une nouvelle série de codes pour chaque échantillon répété. Comme certains feutres laissent une odeur, se servir d'un crayon à la cire, particulièrement lorsque l'analyse porte sur l'odeur, pour écrire le chiffre sur les contenants. On peut aussi se servir d'étiquettes faites par ordinateur.

Ordre de présentation

À cause de plusieurs effets psychologiques et physiologiques dont nous avons traité, il faut répartir les échantillons d'une façon égale ou au hasard. S'il n'y a pas beaucoup d'échantillons et de dégustateurs, la répartition égale des échantillons rend possible la répétition de chaque ordre de présentation un nombre égal de fois. Pour les expériences à plus grande échelle, choisir un ordre aléatoire de présentation à l'aide des tables de répartition au hasard ou à l'aide d'un logiciel statistique. Pour obtenir une présentation aléatoire, donner d'abord un numéro à chaque échantillon : par exemple l'échantillon A = 1, l'échantillon B = 2, etc. Puis à partir de la table de répartition au hasard (table statistique 1), choisir au hasard une colonne et une rangée et déterminer l'ordre de présentation à mesure que l'on rencontre chaque numéro d'échantillon (en se déplaçant horizontalement ou verticalement).

Rinçage

Fournir aux dégustateurs un rince-bouche qu'ils utiliseront entre deux échantillons. Beaucoup de chercheurs préfèrent de l'eau plate, à la température ambiante. Toutefois, durant l'évaluation d'aliments gras, l'eau chaude, le thé, l'eau citronnée ou une tranche de pomme ou de poire orientale sont des rince-bouche plus efficaces. On a également utilisé des craquelins non salés, du céleri et du pain pour supprimer les arrière-goûts. Certains chercheurs exigent que les dégustateurs se rincent la bouche après avoir dégusté un échantillon tandis que d'autres leur accordent la liberté la plus totale. Toutefois, chaque dégustateur devrait toujours s'y prendre de la même façon après chaque échantillon. Parfois, il faut régler la vitesse de dégustation de façon à empêcher le report des saveurs d'un échantillon à l'autre, mais, habituellement, on laisse les dégustateurs travailler à leur propre rythme.

Renseignements sur l'échantillon

Donner aussi peu de renseignements qu'il est possible aux dégustateurs pour ne pas influer sur les résultats. Si les dégustateurs possèdent des renseignements sur les échantillons, ils sont exposés à une erreur d'anticipation. Comme celle-ci présente un risque réel, exclure du jury les personnes qui ont directement affaire avec l'expérience.

Heure du jour

Elle influe sur les résultats des évaluations (Amerine *et al.*, 1965). On ne peut pas toujours limiter le temps si le nombre d'évaluations est élevé, mais le moment le plus propice se situe à la fin de la matinée et au milieu de l'après-midi.

Tenir compte du type de produit. Trop tôt le matin ou l'après-midi, certains dégustateurs peuvent être rebutés, particulièrement si les aliments sont épicés, piquants. Si la journée tire à sa fin, la motivation peut manquer. Éviter l'heure des repas. Fixer l'horaire d'évaluation en tenant compte des autres évaluations à effectuer.

Sélection et formation des dégustateurs

L'instrument d'analyse sensorielle, c'est le jury. Son utilité dépend de l'objectivité, de la précision ainsi que de la constance du jugement de ses membres. Avant de pouvoir se fier au jury, il faut déterminer surtout la constance du jugement de ses membres. Les membres des jurys d'évaluation descriptive doivent être soigneusement sélectionnés et formés.

Les jurys d'évaluation en laboratoire sont habituellement constitués d'employés, de travailleurs ou de chercheurs. Le personnel devrait considérer comme une tâche normale sa participation à un jury; il devrait s'attendre à devoir évaluer tous les produits. Toutefois, on ne demandera pas à une personne d'évaluer des aliments auxquels elle est allergique ou qu'elle digère mal. Il faut que la direction apporte son appui aux dégustateurs qui sont membres d'un jury et que les superviseurs collaborent étroitement avec eux. Un jury formé seulement de quelques experts d'élite donnera des résultats plus précis et plus constants qu'un jury qui ne compte que des novices.

Critères de sélection

Pour constituer un jury efficace d'analyse sensorielle descriptive, il faut faire une sélection. Cette dernière repose sur certaines caractéristiques personnelles et certaines aptitudes à exécuter des tâches précises. Les

critères de sélection comprennent également la santé, l'intérêt, la disponibilité, la ponctualité et des talents de communication verbale.

Santé

Les dégustateurs doivent être en bonne santé et ils devraient se désister si leur état risque de nuire au fonctionnement normal du goût et de l'odorat : rhume, allergies, prise de médicaments et grossesse qui, souvent, influent sur la sensibilité du goût et de l'odorat. Nous leur recommandons de ne pas fumer ni mâcher de gomme ni manger ni boire au moins 30 minutes avant le début de l'analyse. Tenir un dossier des allergies, des préférences ainsi que des répugnances des dégustateurs.

Intérêt

Les facteurs émotifs, l'intérêt et la motivation semblent plus importants que l'âge ou le sexe. La motivation influe sur les réponses des dégustateurs. L'intérêt est essentiel à l'apprentissage et à la performance, mais souvent il est difficile à maintenir. Une solution pourrait être de fournir à chacun les résultats des essais. Si on veut que les membres du jury soit convaincu de l'importance de leur rôle, il faut effectuer les essais avec précision et efficacité.

Disponibilité et ponctualité

La disponibilité des dégustateurs durant la formation et les analyses est essentielle. Les personnes appelées à se déplacer souvent et certains employés de production ne peuvent faire partie d'un jury. La ponctualité est essentielle, non seulement pour éviter la perte du temps des confrères, mais également pour maintenir l'intégrité du plan d'expérience et d'échantillonnage. Favoriser la ponctualité en annonçant d'avance tous les essais, c'est-à-dire par un calendrier, une planification régulière ainsi que l'envoi d'une note ou d'un appel personnel peu avant les séances.

Communications verbales

Selon la méthode d'évaluation employée, les dégustateurs doivent faire preuve d'une plus ou moins grande aptitude à communiquer. Les évaluations descriptives, par exemple, exigent généralement de bons talents de communication verbale parce que l'on s'attend à ce que les dégustateurs définissent et décrivent les diverses caractéristiques des produits.

Sélection et tri

Amerine *et al.* (1965) sont d'avis que, si on sélectionne et forme des dégustateurs qui ont un jugement constant, les membres d'un jury pourraient être peu nombreux tout en étant efficaces. La sélection d'après le seuil de sensibilité aux saveurs primaires ne donne pas de bons résultats, car cette sensibilité peut ne pas être reliée à la sensibilité aux différences dans les aliments. Il est plus réaliste de sélectionner les dégustateurs d'après leur sensibilité aux différences dans les aliments à évaluer. Idéalement, on devrait choisir deux à trois fois plus de personnes qu'il n'en faudra, selon la catégorie de produits à évaluer. Préparer les échantillons de sorte qu'ils soient aussi variés que le produit que le jury aura à évaluer. Lorsque c'est possible, les méthodes de sélection devraient être semblables aux méthodes effectivement employées durant l'évaluation. S'assurer que chaque participant comprend clairement chaque méthode d'évaluation, la fiche d'évaluation ainsi que la technique d'évaluation. Classer chaque participant selon son aptitude à différencier (pour les besoins des essais de discrimination) ou à décrire (pour les besoins des essais descriptifs et de détermination du profil) les échantillons préparés. Les candidats retenus devraient posséder une sensibilité propre à la caractéristique évaluée. Répéter les essais pour vous assurer que le jugement des dégustateurs est constant. Pour chaque produit, sélectionner un nouveau jury. Certains dégustateurs peuvent être capables d'apprécier les moindres nuances de saveur d'un produit sans être nécessairement capables de le faire pour un autre produit.

Les essais de discrimination comprennent les essais triangulaires, les essais duo-trio ou deux-sur-trois, les essais deux-sur-cinq, les comparaisons par paires et les classements. L'essai de sélection des membres d'un jury de discrimination consiste à présenter à chaque candidat une série de trios d'échantillons et à calculer le pourcentage d'identifications justes des échantillons dépareillés (*American Society for Testing and Materials*, 1981) ou, encore, à faire une analyse de tri séquentiel (*American Meat Science Association*, 1978).

Les analyses descriptives comprennent la détermination du profil de flaveur, celle du profil des textures, l'analyse descriptive quantitative et le classement des propriétés. Quant à la sélection des dégustateurs qui font l'analyse organoleptique, pour laquelle il importe de posséder une mémoire des flaveurs et la capacité de réagir logiquement aux perceptions des flaveurs, l'*American Society for Testing and Materials*, (1981) recommande certains essais :

- déterminer l'aptitude du dégustateur à différencier les saveurs fondamentales à des concentrations supra-liminaires;
- déterminer son aptitude à identifier et à décrire 20 substances odorantes;
- évaluer son aptitude à classer des échantillons de saveurs fondamentales dans l'ordre ascendant des concentrations.

Si une analyse de la texture est exigée, mesurer l'aptitude des candidats à classer des échantillons à l'intérieur de diverses échelles de textures, c'est-à-dire la dureté, la viscosité et les caractéristiques géométriques en

ordre croissant de l'intensité des propriétés par exemple (*American Meat Science Association*, 1978).

Formation

La formation améliore la sensibilité et la mémoire d'un dégustateur, ce qui lui permet de faire des évaluations sensorielles précises, constantes, normalisées et qu'il peut répéter. Pour que les dégustateurs décident objectivement, ils doivent être formés à passer outre leurs préférences personnelles. La formation comporte l'acquisition d'un vocabulaire descriptif. Chaque dégustateur doit déceler et reconnaître le sens exact de chaque terme descriptif et y adhérer. L'emploi d'étalons de référence spécialement préparées ou de produits de concurrents qui montrent la variation de certains termes descriptifs peuvent aider les dégustateurs stagiaires à porter des jugements plus cohérents. Analyser les techniques d'évaluation de l'odeur, de l'apparence, de la flaveur et de la texture et s'entendre sur une marche à suivre commune. Les dégustateurs doivent également bien connaître la méthode d'évaluation. La durée de la formation (de quelques semaines à quelques mois) varie selon le produit, la méthode d'évaluation et les aptitudes des dégustateurs.

Plan d'expérience

Dans les expériences préparatoires, examiner soigneusement les hypothèses à vérifier, l'ampleur de l'expérience, le nombre de répétitions, le groupage (en blocs), la répartition au hasard et les essais statistiques.

Échantillons

On prélève des échantillons pour en savoir plus sur la population à l'étude, c'est-à-dire l'ensemble de toutes les observations possibles sur un produit donné dont on prélève des échantillons. À l'intérieur d'une population, les caractéristiques varient d'un échantillon à l'autre. Lorsqu'une décision est prise à l'égard d'une population, à la lumière des renseignements obtenus par les échantillons, il est nécessaire d'attribuer au hasard la part qui lui revient. Il faut s'assurer que les échantillons représentent en tout point la population dont ils proviennent.

Hypothèses à vérifier

Avant de choisir l'essai, l'analyste des caractéristiques sensorielles doit fixer l'objectif de l'étude, qui s'exprime alors sous la forme d'une hypothèse nulle. Par exemple, lorsqu'on évalue deux produits qui possèdent chacun une concentration différente d'édulcorant, afin de savoir si la différence de

goût sucré est décelable, l'hypothèse nulle pourrait se formuler comme suit : « La différence de goût sucré entre les produits est nulle ».

À la lumière des résultats de l'analyse statistique des données expérimentales, on accepte ou on rejette l'hypothèse nulle. À la décision d'accepter ou de rejeter l'hypothèse correspondent deux types d'erreurs : l'erreur de type I, lorsque l'hypothèse nulle est rejetée alors qu'elle est exacte, c'est-à-dire lorsqu'on voit une différence qui n'existe pas; l'erreur de type II, lorsque l'hypothèse nulle est acceptée alors qu'elle est effectivement fausse, c'est-à-dire lorsqu'on ne voit pas la différence.

La probabilité de l'erreur de type I est le niveau de signification (α). Habituellement, le seuil de signification est fixé à 0,05 (5 %) ou 0,01 (1 %). Le seuil de signification de 0,05 signifie que la probabilité de voir une différence alors qu'il n'y en a pas est de 1 sur 20. Un résultat est considéré comme notable si la probabilité (P) est de 0,05 ou moins. La probabilité de l'erreur de type II est β.

En recherche, les essais statistiques visent habituellement à déceler les différences. Les erreurs de type I, c'est-à-dire le rejet erroné de l'hypothèse nulle, devraient nous préoccuper. Toutefois, comme il arrive souvent en analyse sensorielle, on compare de nouveaux produits à des produits ordinaires pour s'assurer, sur le plan de la qualité, qu'ils n'en diffèrent pas. C'est alors qu'il faut se préoccuper de l'erreur de type II, c'est-à-dire de ne pas voir la différence. Si l'on tombe dans cette erreur, les consommateurs risquent de remarquer un changement dans le nouveau produit et d'arrêter de l'acheter. Il faut donc réduire au minimum β en ayant recours à des dégustateurs qui sont fiables, et ont un sens d'observation aigu, et en augmentant la grosseur de l'échantillon (Larmond, 1981). Pour approfondir la question, le lecteur consultera avec profit O'Mahony (1986).

Ampleur de l'expérience

Le nombre de jugements recueillis, influera sur la signification statistique des résultats. Si on dispose de quelques jugements seulement, les différences doivent être importantes pour avoir une signification statistique, tandis que si on obtient un grand nombre de jugements, une différence minime peut revêtir une signification statistique. Même si la signification statistique est importante pour les résultats, il en va de même de l'amplitude des différences. Par exemple, un écart de 0,3 sur une ligne de 15 cm ne serait pas vraisemblablement notable (Larmond, 1981). Si l'on dispose de renseignements préalables sur la variabilité, on peut estimer que la taille de l'échantillon est convenable, ce qui fera que les écarts notables le seront également du point de vue statistique; à ce sujet, le lecteur aura avantage à consulter Steel et Torrie (1980) ou Gacula et Singh (1984). Si l'on ne connaît pas la variabilité, une étude préliminaire peut remédier à cette lacune.

Pour évaluer l'erreur expérimentale, il est nécessaire de répéter les manipulations. Idéalement, l'analyste doit s'assurer que les sous-échantillons sont des unités indépendantes, représentatives de la population. Par exemple, si l'on évalue différentes purées de pomme,

chaque dégustateur devrait recevoir des échantillons prélevés de boîtes différentes (échantillons indépendants), plutôt que de la même boîte. Parfois, ce plan d'expérience n'a pas d'utilité. Par exemple, si l'on évalue des rôtis de différentes races animales, on pourrait distribuer des échantillons du même rôti (sous-échantillon) à plusieurs dégustateurs. L'unité expérimentale sera alors le rôti et non pas l'échantillon reçu par chaque dégustateur et on comparera l'effet de la race sur la variabilité entre les rôtis. Pour en savoir plus sur cet aspect des plans d'expérience, consulter le chapitre 12 de Meilgaard *et al.* (1987*b*).

Groupage

Il est généralement possible d'augmenter la précision de l'expérience (l'aptitude à déceler les différences réelles) en supprimant les sources connues de variabilité pour évaluer l'erreur. Par exemple, les dégustateurs utilisent souvent différentes parties d'une échelle pour indiquer leurs jugements. Nous pouvons atténuer cette variabilité de l'erreur en groupant ou en appariant les observations. Ainsi, chaque dégustateur évalue tous les échantillons qui diffèrent par le traitement. Faire des échantillons aussi homogènes que possible pour chaque dégustateur de sorte que les comparaisons soient aussi précises que possible.

La comparaison simultanée des traitements par un seul et même dégustateur (dans un groupe ou bloc) est généralement plus précise que la comparaison au cours de séances distinctes. Cette condition peut limiter gravement le plan d'expérience. Les différences entre un grand nombre de traitements seront plus difficiles à évaluer de façon précise que les différences entre un petit nombre de traitements qu'un dégustateur peut comparer dans une séance. En outre, en raison du nombre de traitements à évaluer ou de caractéristiques particulières du produit, comme un arrière-goût persistant, il n'est pas toujours possible d'évaluer tous les traitements au cours d'une seule séance. On a alors recours à un plan en blocs incomplets. Choisir le plan d'expérience le plus efficace possible (variabilité minimale). Mais pour atteindre la même efficacité qu'avec le plan en blocs complets, il faut un plus grand nombre de répétitions. Lorsqu'on ne peut pas comparer tous les traitements au cours d'une même séance, utiliser des échantillons témoins, si c'est possible, pour améliorer la comparabilité entre les séances (Gacula, 1978). Pour plus de renseignements sur les plans complexes d'expérience, il est conseillé de consulter un statisticien. Cochran et Cox (1957), Moskowitz (1988*b*), Meilgaard *et al.* (1987*b*) et Gacula et Singh (1984), ont approfondi le sujet.

Répartition au hasard

Il est essentiel d'avoir une bonne répartition au hasard pour obtenir un résultat valide, non erroné. La répartition au hasard est importante si l'on veut se prémunir contre une préférence ou un préjugé inconscient à l'égard d'un traitement et pour s'assurer de l'évaluation exacte de l'erreur. Les

paramètres à répartir au hasard comprennent, par exemple, l'ordre de présentation, le four utilisé dans la préparation et le choix d'une matière en vue d'un traitement. Les tables de répartition au hasard (table statistique 1) aideront à donner un ordre aléatoire à chaque étape de l'expérience.

Essais statistiques

En général, on analyse les résultats des essais de discrimination en comparant des statistiques expérimentales à des valeurs trouvées dans des tables; on analyse les résultats des essais de classement en calculant un coefficient de Friedman; dans le cas des essais d'échelle de variations relatifs et des essais d'échelle graduée et d'échelle analogique à deux échantillons, on effectue l'essai *t*, tandis que les résultats d'essais portant sur plus de deux échantillons sont analysés par l'essai *F*. On trouvera plus loin les analyses suivantes :

- Essai triangulaire (p. 22)
- Essai duo-trio (p. 24)
- Essai deux-sur-cinq (p. 25)
- Essai de comparaison par paires (p. 27)
- Essai de Friedman pour les données classées (p. 29)
- Essai *t* (p. 35)
- Analyse de la variance (p. 39)
- Analyse de la variance avec interactions (p. 46)
- Analyse de la variance de données mises sous forme logarithmique (p. 51)

S'il y a plus de deux traitements, l'analyste peut souhaiter en connaître davantage que l'existence ou non d'une différence notable entre les échantillons. On peut, par comparaisons multiples, déterminer les paires de moyennes notablement différentes. Les comparaisons multiples ne conviennent pas toujours. Parmi les essais de comparaisons multiples, mentionnons ceux de Scheffé, de Tukey, de Newman-Keuls, l'essai à intervalles multiples de Duncan et celui du moindre écart notable de Fisher. Plus l'essai est rigoureux (comme celui de Fisher, précité), plus le moindre écart notable est petit et plus la probabilité de trouver une différence est grande. Toutefois, on risque également de découvrir une différence qui n'existe pas. D'autre part, plus l'essai est prudent (par exemple celui de Tukey), plus le moindre écart notable est grand, moins on est susceptible de trouver une différence entre les moyennes. L'essai de Dunnett, de comparaisons multiples, est conçu pour une application spéciale : uniquement lorsque toutes les moyennes sont comparées à l'une d'entre elles, par exemple un témoin. Dans certains cas, comme l'accroissement ou la diminution de la concentration d'un paramètre donné, la régression linéaire des échantillons convient davantage. Ainsi on déterminera le degré d'association entre deux ensembles de données, c'est-à-dire les résultats de l'analyse sensorielle et le paramètre étudié. Le lecteur peut trouver des

détails sur chacun de ces essais dans *Sensory evaluation of food - Statistical methods and procedures* (O'Mahony, 1986).

Les essais suivants de comparaison sont décrits plus loin :

- Essai de comparaisons multiples de Tukey appliqué aux échelles (p. 41)
- Essai de comparaisons multiples appliqué aux rangs (p. 30)
- Comparaison d'un témoin à d'autres échantillons (essai de Dunnet) (p. 49)
- Estimation de la régression linéaire (p. 53).

Méthodes des essais d'analyse sensorielle

Il existe plusieurs méthodes d'analyse sensorielle. Le chercheur devrait connaître à fond les avantages et les inconvénients de chacune. Choisir la méthode la plus pratique et la plus efficace dans chaque situation. Aucune méthode n'est universelle. Le chercheur doit définir avec précision l'objet de l'essai ainsi que les renseignements qu'il espère en tirer.

Les trois catégories fondamentales d'essais sensoriels sont les essais de discrimination, les essais descriptifs et les essais subjectifs. Les essais de discrimination permettent de déterminer l'existence d'une différence entre les échantillons. Les essais descriptifs servent à déterminer la nature et l'intensité des différences. Les essais subjectifs se fondent soit sur une mesure de la préférence (ou de l'acceptation), soit sur celle à partir de laquelle on peut déterminer une préférence relative. Dans leurs réponses, les dégustateurs se laissent guider par leurs sentiments personnels à l'égard du produit. Nous décrivons plusieurs méthodes expérimentales courantes, nous donnons des exemples de fiches d'évaluation pour chacune, nous montrons comment les utiliser et nous exposons les analyses statistiques qui les accompagnent.

Essais de discrimination

L'analyse sensorielle vise souvent à déterminer s'il existe une différence entre les échantillons. Si l'on évalue la ressemblance, on parle d'essai de similarité. C'est le type d'essai le plus utilisé pour évaluer la qualité. Il est alors nécessaire de réduire β au minimum (erreur de type II). La recherche d'une différence est appelée essai de discrimination. On vise alors à réduire α au minimum (erreur de type I). Pour une explication plus détaillée des essais de similarité et de discrimination, nous invitons le lecteur à consulter Meilgaard *et al.* (1987*a*, *b*). Les essais de discrimination sont communément utilisés lorsqu'il s'agit de maintenir la qualité, de réduire les coûts, de choisir de nouveaux fournisseurs et d'étudier la stabilité des conditions d'entreposage. Plusieurs méthodes sensorielles nous permettent de mesurer les différences. Nous ferons la description de l'essai triangulaire, l'essai duo-trio (ou deux-sur-trois), l'essai deux-sur-cinq, la

comparaison par paires et l'essai de classement. Puis, nous en soulignerons les avantages, les inconvénients et les caractéristiques.

Essai triangulaire

Ses résultats montrent s'il existe une différence décelable entre deux échantillons. Un seuil de signification plus élevé ne veut pas dire que la différence est plus grande, mais qu'il est plus probable qu'on trouve une réelle différence.

Le dégustateur reçoit trois échantillons codés, en étant informé que l'un des échantillons diffère des deux autres qui sont semblables. On lui demande de trouver l'échantillon qui diffère. Cette méthode est utile pour évaluer la qualité, quand on veut déterminer si des échantillons de différents lots de production sont différents. Elle sert également à déterminer si le remplacement d'un ingrédient ou tout autre changement dans le procédé de fabrication se traduit par une différence décelable dans le produit. Enfin, elle sert souvent à sélectionner des candidats pour les jurys d'analyse sensorielle.

Comme le dégustateur recherche l'échantillon qui diffère, les échantillons ne devraient différer que par la variable à l'étude. Toutes les autres différences doivent être masquées. L'essai triangulaire se limite donc aux produits homogènes.

L'analyse des résultats se fonde sur la comparaison du nombre d'identifications justes au nombre d'identifications auxquelles on pourrait s'attendre du seul fait du hasard si aucune différence n'existait entre les échantillons. Dans l'essai triangulaire, le hasard interviendrait, pour la sélection de l'échantillon qui diffère, une fois sur trois.

Pour déterminer la probabilité que l'échantillon qui diffère a été correctement identifié du seul fait du hasard (aucune différence décelable), utiliser la table statistique 2.

Dans l'essai triangulaire, on ne détermine ni l'amplitude de la différence entre les échantillons ni le sens de cette différence. On ne précise pas plus la caractéristique expliquant la différence.

On peut présenter les échantillons, dans l'essai triangulaire, de l'une des six façons suivantes :

ABB	BBA	AAB
BAB	ABA	BAA

Indiquer l'ordre dans lequel chaque dégustateur doit goûter aux échantillons en inscrivant les codes dans l'ordre approprié sur la fiche d'évaluation.

Dans la plupart des cas, chaque échantillon sert d'échantillon apparié pour la moitié des essais et d'échantillon qui diffère pour l'autre moitié. Dans certains cas, on a constaté que le nombre d'identifications justes était plus élevé lorsque les échantillons appariés étaient les échantillons

normaux ou les échantillons témoins. Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'essai triangulaire :

FICHE D'ÉVALUATION POUR ESSAI TRIANGULAIRE

PRODUIT : tomates en conserve

NOM _____ DATE _____

Deux des trois échantillons fournis sont identiques, le troisième est différent. Y goûter dans l'ordre indiqué et désigner l'échantillon qui diffère.

Indiquer l'échantillon qui diffère.

Code	*Indiquer l'échantillon qui diffère*
314	_____
628	_____
542	_____

Observations :

Exemple Un essai triangulaire a servi à déterminer s'il existe une différence décelable entre des tomates mises en conserve dans deux séries différentes de conditions.

Trois échantillons sont servis dans des plats codés à 36 dégustateurs : 18 reçoivent deux échantillons du traitement A et un du traitement B; les 18 autres reçoivent un échantillon du traitement A et deux du traitement B. En raison de la nature de la présentation, il est nécessaire d'affecter deux numéros de code à chaque traitement. On trouvera les résultats au tableau 1.

Traitement	*Code*	*Nombre d'échantillons requis*
A	314	18
	542	36
B	628	36
	149	18

Tableau 1 Résultats d'un essai triangulaire portant sur des tomates mises en conserve selon le traitement A ou B

	Choix de l'échantillon qui diffère		
Code (traitement)	Juste	Erroné	Total
314(A) 628(B) 542(A)	9	9	18
542(A) 628(B) 149(B)	12	6	18
Total	21	15	36

Vingt et un dégustateurs ont bien identifié l'échantillon qui diffère. Selon la table statistique 2,21 jugements justes sur 36 dans un essai triangulaire correspondent à une probabilité de 0,002, ce qui est inférieur à la valeur critique de $P = 0,05$. Ainsi, la probabilité d'obtenir le même résultat par le hasard seul est de 2 sur 1 000. Nous concluons donc que la différence entre les échantillons était décelable.

Essai duo-trio

Dans cet essai, on présente au dégustateur trois échantillons : un marqué T (témoin); les deux autres codés. L'un des échantillons codés est identique au témoin, l'autre est différent. On demande au dégustateur de trouver l'échantillon codé qui diffère. Cet essai ressemble à l'essai triangulaire sauf que l'un des échantillons appariés est marqué comme étant le témoin (T).

L'essai trouve les mêmes applications que l'essai triangulaire, tout en étant moins efficace en raison de la probabilité de 50 % de choisir de façon aléatoire le bon échantillon. Les dégustateurs trouvent souvent cet essai plus facile que l'essai triangulaire. On s'en sert souvent à la place de ce dernier pour évaluer des échantillons qui possèdent une forte flaveur parce qu'on a besoin de moins de comparaisons en ce cas. Il n'est pas nécessaire de comparer les deux échantillons codés.

Dans l'essai duo-trio, on peut choisir l'un des échantillons comme témoin durant la durée de l'essai ou on peut se servir à tour de rôle des deux échantillons comme témoins. On a donc besoin de deux fois plus d'échantillons T que d'échantillons codés.

Déterminer la probabilité que le nombre d'identifications justes ait été obtenu par le seul concours du hasard (aucune différence décelable). L'essai du duo-trio est toujours unilatérale (voir « Essai de comparaisons par paire »). Au moyen de la table statistique 4, déterminer cette probabilité. Voici un exemple de fiche d'évaluation et de l'essai.

FICHE D'ÉVALUATION POUR L'ESSAI DUO-TRIO

PRODUIT : cheddar

NOM_____ DATE _____

Sur le plateau, vous trouverez un témoin marqué T et deux échantillons codés. L'un de ceux-ci est identique au témoin.

Quel échantillon codé diffère de T?

Code	*Indiquer l'échantillon qui diffère*
432	_____
701	_____

Observations :

Exemple On s'est servi de l'essai duo-trio pour déterminer si les dégustateurs peuvent déceler qu'on a ajouté 0,250 ppm de méthional au cheddar. On préfère recourir à l'essai duo-trio plutôt qu'à l'essai triangulaire parce qu'il faut moins de dégustations pour porter un jugement. Le fait a de l'importance lorsque les dégustateurs goûtent une substance qui, comme le méthional, possède un arrière-goût durable.

Seize dégustateurs participent à l'essai. On leur présente un plateau de deux échantillons témoins, l'un Rand, l'autre codé accompagné d'un échantillon codé renfermant 0,250 ppm de méthional. L'ordre de présentation des deux échantillons codés est réparti au hasard. Seize jugements en tout sont portés. Les résultats montrent que 14 sont justes.

On voit ce qu'indique la table statistique 4 lorsque 16 dégustateurs participent à un essai portant sur deux échantillons. La table montre que pour 14 jugements justes, la probabilité est de 0,002, ce qui est moins que la valeur critique de $P = 0{,}05$. Nous concluons que l'ajout de méthional au cheddar peut être détecté à la concentration de 0,250 ppm.

Comme pour l'essai triangulaire, le duo-trio permet d'établir s'il existe une différence décelable entre les échantillons. Toutefois, il ne précise pas l'amplitude de la différence et n'indique pas non plus si le jugement des dégustateurs est fondé sur la même caractéristique.

Essai deux-sur-cinq

Chaque dégustateur reçoit cinq échantillons codés en étant informé que deux d'entre eux appartiennent à un ensemble et trois à un autre. On lui demande de trouver les deux échantillons appariés.

La méthode trouve des applications semblables à celle de l'essai triangulaire. Statistiquement, elle est plus efficace que cette dernière, car la probabilité de trouver la réponse juste, du seul fait du hasard, est de 1 sur 10, comparativement à 1 sur 3 pour l'essai triangulaire. Toutefois, la fatigue sensorielle influe énormément sur les résultats. L'essai est recommandé pour l'analyse visuelle, auditive et tactile de préférence à l'analyse de la flaveur et de l'odeur.

L'analyse des résultats de l'essai se fonde sur la probabilité que, si aucune différence n'était décelable, la réponse juste serait donnée une fois sur 10. La table statistique 5 permet d'analyser rapidement les données de cet essai.

Les résultats de l'essai montrent s'il existe une différence décelable entre deux séries d'échantillons. On ne peut déterminer aucune caractéristique précise pour expliquer la différence.

On peut servir les échantillons selon les 20 ordres suivants :

AAABB	ABABA	BBBAA	BABAB
AABAB	BAABA	BBABA	ABBAB
ABAAB	ABBAA	BABBA	BAABB
BAAAB	BABAA	ABBBA	ABABB
AABBA	BBAAA	BBAAB	AABBB

Si le jury n'est pas constitué de 20 personnes, choisir au hasard les combinaisons possibles dont la moitié comporte trois A et l'autre moitié trois B. Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'essai :

FICHE D'ÉVALUATION POUR L'ESSAI DEUX-SUR-CINQ

PRODUIT : saucisses fumées

NOM _____ DATE _____

Deux des cinq échantillons suivants appartiennent à un ensemble, les trois autres à un autre ensemble. Examiner la couleur des échantillons dans l'ordre donné ci-dessous.

Indiquer les *deux* appariés en inscrivant un × vis-à-vis du code.

Code	
846	_____
165	_____
591	_____
497	_____
784	_____

Observations :

Exemple L'essai deux-sur-cinq a servi à déterminer si un agent différent de salaison a modifié la couleur des saucisses fumées. Les échantillons codés sont présentés à 20 dégustateurs à qui on demande de les examiner seulement de vue. La méthode d'évaluation dépend de l'objet de l'essai, par exemple écouter le bruit de mastication ou toucher la rugosité de l'échantillon.

Voici le résultat des réponses :

Réponses totales :	20
Réponses justes :	7

Selon la table statistique 5, 7 réponses justes sur 20 donnent un écart notable à $P = 0{,}002$. Nous concluons qu'une différence notable de couleur existe entre les échantillons.

Comparaison par paires

Pour cet essai, le dégustateur doit comparer l'intensité d'une caractéristique particulière d'une paire d'échantillons codés. On lui demande d'indiquer l'échantillon dont la caractéristique à l'étude est la plus intense.

L'essai sert à déterminer si deux échantillons diffèrent sur une caractéristique donnée. Les essais de discrimination présentés jusqu'ici,

sauf le deux-sur-cinq, ne précisaient pas la caractéristique à évaluer : on demandait aux dégustateurs de se prononcer sur toute différence décelable. La comparaison par paires peut servir à évaluer la qualité ou à déterminer si une modification dans le processus de fabrication provoque une différence décelable. On peut également s'en servir pour la sélection des dégustateurs. La probabilité qu'un dégustateur trouve, du seul fait du hasard, la bonne réponse d'une comparaison par paires est de 50 %.

Dans cet essai, on s'attend habituellement à ce que la caractéristique à évaluer soit plus intense dans un échantillon que dans l'autre. Il s'agit d'un essai de discrimination sur le sens de la différence, c'est pourquoi nous utilisons un essai unilatéral (table statistique 4). Toutefois, lorsqu'on ne formule aucune attente au sujet des résultats, utiliser un essai bilatéral (table statistique 3).

Les comparaisons par paires ne donnent aucune indication sur l'amplitude de la différence entre deux échantillons, mais visent à déterminer s'il existe plutôt une différence décelable en ce qui touche une caractéristique donnée et à indiquer le sens de cette différence. Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'essai :

FICHE D'ÉVALUATION POUR COMPARAISON PAR PAIRES

PRODUIT : pêches en conserve

NOM_____ DATE_____

Évaluer le goût sucré des deux échantillons de pêches en conserve. Goûter d'abord l'échantillon de gauche.

Indiquer l'échantillon le plus sucré en encerclant son numéro.

581 *716*

Observations :

Exemple Pour déterminer s'il existe une différence de goût sucré entre des pêches conservées dans du sucrose liquide à 45° Brix ou dans un sirop inverti à 52 % à 45° Brix, on s'est servi d'une comparaison par paires.

Les pêches ayant subi l'un ou l'autre de ces traitements ont été servies dans des plats codés à 20 dégustateurs. Dix devaient goûter un échantillon en premier; 10 autres devaient y goûter après l'autre échantillon. Douze dégustateurs ont trouvé que l'échantillon dans le sirop inverti était le plus sucré. À concentration égale, le sirop est généralement considéré comme plus sucré que le sucrose, c'est pourquoi on utilise un essai unilatéral. Selon la table statistique 4, la probabilité de la comparaison par paires est de

0,252, ce qui est supérieur à la valeur critique de $P = 0,05$. Nous concluons donc qu'aucune différence décelable n'existe dans le goût sucré des deux types de pêches.

Essai de Friedman pour les données classées

Il s'agit d'une extension de la comparaison par paires. Le dégustateur doit classer l'intensité de caractéristiques précises d'au moins trois échantillons codés.

Le classement est rapide et permet l'évaluation simultanée de plusieurs échantillons. On s'en sert généralement pour le tri d'un ou de deux échantillons d'un groupe plutôt que pour l'évaluation à fond de tous les échantillons. On peut vérifier le degré de signification des résultats au moyen de l'essai de Friedman appliqué aux données classées. On n'obtient aucune indication sur l'amplitude de la différence entre les échantillons. Les échantillons classés les uns après les autres peuvent différer considérablement ou peu, mais ils restent séparés par un seul rang. Comme ils ne sont évalués que relativement les uns par rapport aux autres, les résultats d'une série de rangs ne peuvent pas être comparés aux résultats d'une autre série de rangs à moins que les deux séries ne renferment les mêmes échantillons. S'il est permis d'attribuer un même rang à plus d'un échantillon, il faut utiliser un coefficient statistique d'essai différent : le lecteur est invité à consulter Meilgaard *et al.* (1987*a*). Voici un exemple de fiche d'évaluation :

FICHE D'ÉVALUATION POUR L'ESSAI DE CLASSEMENT

PRODUIT : boisson aux fruits

NOM _____ DATE _____

Classer les échantillons présentés selon leur goût sucré. L'échantillon le plus sucré est classé au premier rang, le moins sucré au quatrième rang, le reste à l'avenant. Évaluer les échantillons dans l'ordre indiqué.

Placer les codes sur les lignes convenables.

		212	*336*	*471*	*649*
Rang :	le plus sucré	1. _____			
		2. _____			
		3. _____			
	le moins sucré	4. _____			

Observations :

Exemple On s'est servi d'un essai de classement pour comparer le goût sucré d'une boisson aux fruits préparée au moyen de quatre édulcorants. Huit dégustateurs ont classé les boissons à l'aide de la fiche ci-dessus. On trouvera au tableau 2 les rangs attribués aux échantillons.

Tableau 2 Classement de quatre édulcorants dans une boisson aux fruits

Dégustateurs	Traitement			
	A (212)	B (336)	C (471)	D (649)
1	4	2	1	3
2	4	3	1	2
3	3	1	2	4
4	3	2	1	4
5	4	1	2	3
6	4	3	1	2
7	4	2	1	3
8	4	1	2	3
Somme des rangs attribués	30	15	11	24

Essai de Friedman Les résultats (données classées) sont analysés à l'aide de l'essai de Friedman.

On commence par calculer le coefficient T.

T = {12/[nombre de dégustateurs × nombre de traitements × (nombre de traitement + 1)]} × (somme des carrés de la somme des rangs de chaque traitement) – 3 (nombre de dégustateurs) (nombre de traitements + 1)

= $[12/(8 \times 4 \times 5)] \times (30^2 + 15^2 + 11^2 + 24^2) - 3(8 \times 5)$

= $(12/160) \times 1822 - 120$

= 136,65 – 120

= 16,65

Lorsque le nombre de jugements est suffisamment élevé, trouver la valeur de khi au carré, χ^2 avec trois degrés de liberté pour $\alpha = 0{,}05$ à l'aide de la table statistique 6. Le nombre de degrés de liberté est le nombre d'échantillons moins un. La valeur est 7,81. O'Mahony (1986) donne les probabilités exactes lorsque le nombre de traitements et de dégustateurs est peu élevé.

Selon le calcul, T vaut 16,65, ce qui est plus que la valeur critique de 7,81 : nous concluons donc à une différence notable du goût sucré d'un échantillon à l'autre ($P \leq 0{,}05$).

Parmi les traitements, on peut déterminer lesquels diffèrent de façon notable les uns des autres à l'aide d'un essai qui se trouve dans la publication de Hollander et Wolfe (1973), dont nous donnons un exemple ici. On utilise cet essai lorsqu'on a besoin d'un essai d'intervalles multiples (voir « Essais statistiques »). S'il y a moins de huit dégustateurs, Newell et MacFarlane (1987) donnent les valeurs exactes.

On peut établir la moindre différence notable en utilisant la table statistique 7. Dans le cas qui nous occupe, il y avait quatre traitements. Dans cet essai de classement, on prend toujours la valeur qui se trouve en regard du nombre infini de degrés de liberté pour l'erreur. En l'occurrence, cette valeur est de 3,63. La moindre différence notable (M.D.S.) se calcule comme suit :

$$\text{M.D.S.} = 3{,}63\sqrt{[\text{Nbre de dég.} \times \text{nbre de trait.} \times (\text{nbre de trait.} + 1)]/12}$$

$$= 3{,}63\sqrt{(8 \times 4 \times 5)/12}$$

$$= 3{,}63\sqrt{13{,}33}$$

$$= 13{,}3.$$

Si la différence entre la somme des rangs d'échantillons pris deux à deux dépasse 13,3, les deux échantillons sont notablement différents.

Comparons C avec chacun des autres échantillons :

$$A - C = 30 - 11 = 19 > 13{,}3$$
$$D - C = 24 - 11 = 13 < 13{,}3$$
$$B - C = 15 - 11 = 4 < 13{,}3$$

C est donc notablement plus sucré que A :

Comparons B avec les autres échantillons :

$$A - B = 30 - 15 = 15 > 13{,}3$$
$$D - B = 24 - 15 = 9 < 13{,}3$$

B est donc notablement plus sucré que A.

Comparons enfin D et A :

$$A - D = 30 - 24 = 6 < 13{,}3$$

Pour souligner les différences, on peut ajouter des indices aux résultats.

	C	B	D	A
Somme des rangs attribués	11a	15a	24ab	30b
Rang moyen	1,4	1,9	3	3,8

Les sommes des rangs qui n'ont pas les mêmes indices diffèrent de façon notable ($P \leq 0{,}05$). Ainsi, C et B sont notablement plus sucrés que A.

Il existe un essai pour comparer tous les traitements à un témoin (Newell et MacFarlane, 1987), et il devrait être utilisé au besoin.

Essais descriptifs

Souvent, l'analyse sensorielle cherche à obtenir plus de renseignements que la seule réponse à la question : « Y a-t-il une différence ...? » L'analyse descriptive peut servir à déterminer les caractéristiques sensorielles importantes d'un produit. En renseignant sur le degré ou l'intensité de ces caractéristiques, elle décrit effectivement les produits évalués sur le plan sensoriel. Cette information descriptive peut aider à identifier l'ingrédient ou les variables de la transformation auxquels on doit les caractéristiques sensorielles précises d'un produit. On peut utiliser cette information pour faire la mise au point de nouveaux produits, améliorer les produits ou les procédés et évaluer la qualité. La partie que nous entreprenons se subdivise en deux. Nous décrivons d'abord les trois échelles qui servent à mesurer le degré d'intensité de caractéristiques sensorielles données. Nous présentons ensuite trois méthodes d'analyse descriptive qui servent à établir le profil d'un produit. On explique ensuite comment, au Centre de recherches sur les aliments, on procède avec les jurys d'analyse sensorielle.

Méthodes d'échelle

Échelle graduée ou catégorielle

On remet aux dégustateurs une échelle qui comprend plusieurs degrés d'intensité ou d'amplitude d'une caractéristique sensorielle, exprimés par des chiffres, des mots ou une combinaison des deux. Habituellement, le nombre de catégories, de degrés ou d'échelons varie de 6 à 10. On peut assigner un nombre ou des mots (ou les deux) à chaque catégorie, ou encore uniquement aux catégories extrêmes ou à toute combinaison des deux. Les dégustateurs peuvent se prononcer du même coup sur une ou plusieurs caractéristiques sensorielles d'un ou plusieurs produits.

Le vocabulaire descriptif des degrés ou catégories doit être soigneusement choisi, et les dégustateurs doivent être formés de façon à accorder le même sens aux termes. On doit utiliser des termes objectifs tels que « très dur » plutôt que des termes subjectifs tels que « beaucoup trop dur ». Les dégustateurs ne sont pas des consommateurs moyens, et on ne leur demande donc pas de nous dire ce qu'ils aiment ou n'aiment pas. L'échelle doit également montrer clairement si l'intensité de la caractéristique à mesurer augmente ou diminue. Ainsi, une échelle qui irait d'extrêmement sucrée à extrêmement acide est incorrecte parce que le sucré et l'acidité ne sont pas des contraires. Un produit peut à la fois être sucré et acide. Il faut donc utiliser deux échelles, l'une pour le goût sucré (non sucré à extrêmement sucré) et l'autre pour l'acidité (non acide à extrêmement acide). On présente les contraires sur une échelle bipolaire (par exemple de dur à mou).

Les chercheurs devraient être conscients de certains problèmes inhérents aux échelles graduées. La distance psychologique ou l'intervalle sensoriel entre deux termes de l'échelle (descripteurs) pourraient ne pas

être toujours égaux. Par exemple, une échelle servant à mesurer le goût sucré d'une boisson pourrait comprendre les termes « extrêmement sucré », « très sucré », « modérément sucré », « légèrement sucré », « à peine sucré », « non sucré ». La distance psychologique entre « extrêmement sucré » et « très sucré » n'est pas nécessairement la même qu'entre « à peine sucré » et « non sucré ». Toutefois, la distance numérique dans chaque cas est de un. Les dégustateurs évitent habituellement d'utiliser les catégories extrêmes de l'échelle parce qu'ils pensent que l'intensité de la caractéristique sensorielle d'un autre échantillon pourrait être plus forte ou plus faible (la peur des cotes extrêmes). Par exemple, une échelle de neuf points est effectivement utilisée comme si elle était de sept points. Pour utiliser efficacement des échelles graduées, tous les dégustateurs doivent se prononcer sur la même caractéristique; l'utilisation de ces échelles ne fait pas problème lorsqu'on mesure une caractéristique simple comme le goût sucré. Lorsqu'il faut se prononcer sur une caractéristique complexe (par exemple la texture d'un fromage), on doit en décrire les composantes une par une (dureté, cohésion, gras, etc.), et chacun de ces termes doit être défini avec précision, car les dégustateurs peuvent ne pas tous posséder les mêmes notions et, par conséquent, ils ont besoin de formation.

Si, pour diverses catégories de l'échelle, on peut fournir des étalons, on réduira ainsi au minimum un trop grand écart entre les réponses du jury. Ces étalons servent de points de repère et empêchent les glissements de sens des termes. Cette instabilité constitue un inconvénient marqué des échelles graduées qui servent à évaluer la stabilité d'un produit à l'entreposage au cours d'une longue période de temps. Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'échelle graduée.

FICHE D'ÉVALUATION AVEC ÉCHELLE GRADUÉE

PRODUIT : cheddar

NOM _____ DATE _____

Évaluer l'amertume de ces échantillons de fromage.
Indiquer le degré d'amertume de chaque échantillon sur les échelles ci-dessous.

590	*172*
non amer	non amer
légèrement amer	légèrement amer
modérément amer	modérément amer
très amer	très amer
extrêmement amer	extrêmement amer

Observations :

Exemple Pour déterminer la différence d'amertume d'un cheddar dont la fabrication comprend deux enzymes coagulantes du lait, on s'est servi d'une échelle graduée. On a codé les échantillons de fromage de chaque traitement et on les a proposés à l'évaluation de 20 dégustateurs. On a réparti d'une façon égale les ordres de présentation (AB, BA), soit 10 fois chacun. Le pointage correspondant à l'échelle s'étendait de 1 pour « non amer » à 9 pour « extrêmement amer ». On trouvera les pointages au tableau 3.

Tableau 3 Résultats de l'évaluation de l'amertume d'échantillons de fromage au moyen d'une échelle graduée

Dégustateur	Traitements		Différence (A – B)
	A (590)	B (172)	
1	4	4	0
2	5	4	1
3	5	2	3
4	5	2	3
5	2	4	–2
6	5	4	1
7	6	3	3
8	6	3	3
9	7	3	4
10	4	1	3
11	6	2	4
12	3	2	1
13	6	4	2
14	5	5	0
15	2	3	–1
16	3	3	0
17	6	2	4
18	4	1	3
19	4	4	0
20	5	5	0
Total	93	61	32
Moyenne	4,7	3,1	1,6

Dans notre exemple, chaque dégustateur a comparé deux échantillons. Pour analyser les données, on s'est servi de l'essai *t* apparié, lequel repose sur l'hypothèse que l'intervalle entre les catégories est constant, ce qui n'est pas toujours vrai. Il faut donc considérer les résultats comme approximatifs. D'autre part, les données pourraient être soumises à un essai de comparaison par paires ou à un essai de rangs de Wilcoxin, décrit par O'Mahony (1986).

Analyse au moyen de l'essai t

Calculer $\overline{d}$ (la différence moyenne) :

$$\begin{aligned} \overline{d} &= \text{moyenne de A – moyenne de B} \\ &= 4{,}7 - 3{,}1 \\ &= 1{,}6 \end{aligned}$$

Calcul de S:

$$S = \sqrt{\{\Sigma d^2 - [(\Sigma d)^2/n]\}/(n-1)}$$

où : Σd^2 = la somme du carré de chaque différence

$= 0^2 + 1^2 + 3^2 + \ldots + 0^2 = 114$

$(\Sigma d)^2$ = somme des différences au carré

$= 32^2 = 1\,024$

n = nombre de paires = 20

donc : $S = \sqrt{(114 - 1024/20)/19} = 1{,}82$

Trouver la valeur de t dans la table statistique 8, sous la colonne commençant par 0,05.

Le nombre de degrés de liberté est le nombre de paires moins un :

nbre de degrés de liberté = 20 – 1 = 19

$t = 2{,}093$

Les échantillons sont notablement différents si $\dfrac{\overline{d}}{S/\sqrt{n}} > t$

$$\frac{\overline{d}}{S/\sqrt{n}} = \frac{1{,}6}{1{,}82/\sqrt{20}} = 3{,}93$$

Dans cet exemple, 3,93 est plus grand que t, 2,093.

Si nous utilisons plutôt un essai de comparaison par paires, nous observons 13 différences positives sur 15 différences au-dessus de zéro. D'après la table statistique 3, la probabilité que cela se produise, en vertu de l'hypothèse nulle, est de 0,007. Ainsi, l'emploi de l'une ou l'autre méthode nous permet de conclure qu'il y a une différence entre les deux échantillons.

Nous en arrivons donc à la conclusion que le fromage A était plus amer que le fromage B.

Échelle non graduée

Dite aussi linéaire, cette échelle, qui peut remplacer l'échelle graduée, consiste le plus souvent, en analyse sensorielle, en un trait horizontal de 15 cm de longueur, ayant à 1,5 cm de chaque extrémité un point de repère et souvent, mais pas toujours, un point au milieu. Chaque point de repère est habituellement décrit par un mot ou une expression. Pour chaque propriété sensorielle à évaluer, on prévoit une ligne ou échelle distincte. Le dégustateur indique sa réponse par un trait vertical qui traverse le trait horizontal au point qu'il pense le mieux correspondre à sa perception de l'amplitude de la caractéristique à mesurer (fig. 5).

Après que le jury s'est prononcé, le chercheur mesure la distance, à partir de l'extrémité gauche du trait horizontal jusqu'au point marqué par chaque dégustateur. Il note ensuite les distances comme des pointages de 0,0 à 15,0 pour chaque produit évalué et il analyse ces pointages.

L'échelle non graduée élimine le problème causé par les intervalles inégaux des échelles graduées. Au cours de leur formation, les membres du jury s'entendent sur la terminologie descriptive des points de repère. Ce qui s'applique à une échelle s'applique aussi à l'ensemble des échelles, donc les observations que nous avons fait à propos des échelles graduées s'appliquent ici.

Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'analyse descriptive.

FICHE D'ÉVALUATION AVEC ÉCHELLE NON GRADUÉE

PRODUIT : saucisses fumées

NOM_____ DATE _____

Veuillez évaluer la dureté et la résistance à la dent de ces échantillons de saucisses fumées. Tracez un petit trait vertical sur la ligne horizontale pour indiquer le pointage que vous accordez à la dureté et à la résistance à la dent de chaque échantillon. À chaque trait vertical, faites correspondre le numéro de code de l'échantillon.

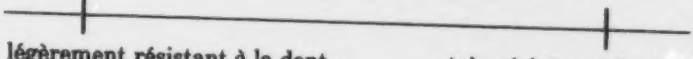
Veuillez goûter les échantillons dans l'ordre suivant :

572 *681* *437* *249*

1. Dureté—la force nécessaire pour comprimer l'échantillon entre les molaires.

très mou très dur

2. Résistance à la dent—le travail perçu comme nécessaire pour donner à l'échantillon une consistance qui le rend prêt à la déglutition.



légèrement résistant à la dent très résistant à la dent

Observations :

Exemple La méthode a été utilisée pour l'étude de la texture de saucisses fumées. Durant l'évaluation préliminaire, le jury a déterminé que la dureté et la résistance à la dent étaient les caractéristiques de texture les plus importantes du produit. Au cours des séances préliminaires, le jury a établi la terminologie des points de repères et les définitions. Huit dégustateurs

se sont prononcés sur quatre marques de saucisses fumées, en remplissant la fiche d'évaluation.

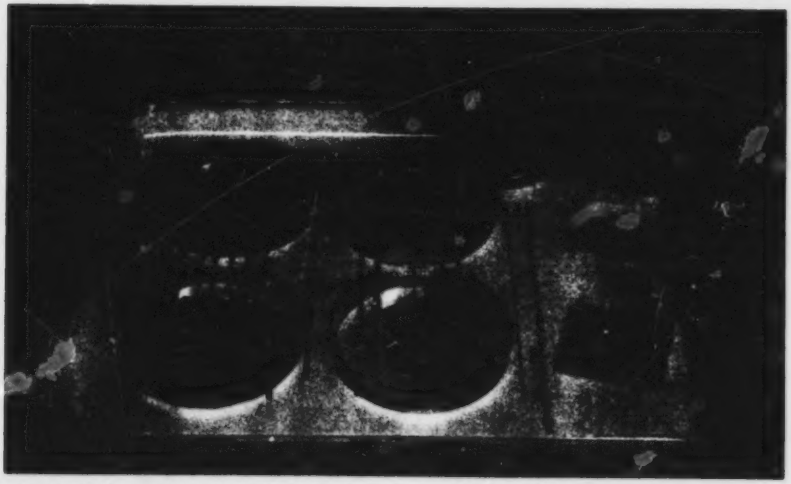


Fig. 5 Préparation d'un plateau pour un essai d'échelle non graduée

On a calculé le pointage en mesurant la distance entre l'extrémité gauche de la ligne horizontale et la marque des dégustateurs par unité de 0,1 cm (tableau 4). Pour chaque caractéristique, on a effectué l'analyse de la variance des valeurs numériques.

Tableau 4 Pointages de la dureté de quatre marques de saucisses fumées

Dégustateur	Traitements (code)				Total
	A (249)	B (681)	C (437)	D (572)	
1	4,8	5,3	8,5	2,8	21,4
2	10,3	6,0	12,8	7,5	36,6
3	11,5	8,0	13,3	4,5	37,3
4	5,8	13,3	13,3	3,3	35,7
5	3,8	11,8	13,3	1,5	30,4
6	5,0	8,3	11,8	4,5	29,6
7	5,0	8,8	13,0	6,8	33,6
8	5,3	12,0	13,5	4,3	35,1
Total	51,5	73,5	99,5	35,2	259,7
Moyenne	6,44	9,19	12,44	4,40	

Analyse de la variance

Pour effectuer une analyse de la variance, il faut effectuer certains calculs pour déterminer le facteur de correction (F_C), la somme des carrés (S_c), les degrés de liberté (d_l), le carré moyen (CM) et le rapport de variances (F). On trouvera plus loin l'explication détaillée de ces calculs au moyen des résultats du tableau 4. Cette analyse peut également être effectuée au moyen d'un progiciel statistique.

Facteur de correction (F_C) C'est le carré du total divisé par le nombre total de jugements.

$$\begin{aligned} F_C &= 259{,}7^2/(8 \times 4) \\ &= 67\,444{,}09/32 \\ &= 2\,107{,}63 \end{aligned}$$

Somme des carrés (des traitements) La somme du carré du total de chaque traitement ($S_{c.tr.}$) divisée par le nombre de jugements portés sur chaque traitement moins le facteur de correction.

$$\begin{aligned} S_{c.tr.} &= [(51{,}5^2 + 73{,}5^2 + 99{,}5^2 + 35{,}2^2)/8] - F_C \\ &= [19\,193{,}79/8] - F_C \\ &= 2\,399{,}22 - 2\,107{,}63 \\ &= 291{,}59 \end{aligned}$$

Somme des carrés (des dégustateurs) ($S_{c.dég.}$) Somme des carrés du total de chaque dégustateur divisée par le nombre de jugements portés par chaque dégustateur moins le facteur de correction.

$$\begin{aligned} S_{c.dég.} &= [(21{,}4^2 + 36{,}6^2 + 37{,}3^2 + 35{,}7^2 + 30{,}4^2 + 29{,}6^2 + 33{,}6^2 + 35{,}1^2)/4] - F_C \\ &= 8\,624{,}59/4 - F_C \\ &= 2\,156{,}15 - 2\,107{,}63 \\ &= 48{,}52 \end{aligned}$$

Somme des carrés (du total) ($S_{c.t.}$) La somme des carrés de chaque jugement moins le facteur de correction.

$$\begin{aligned} S_{c.t.} &= (4{,}8^2 + 10{,}3^2 + 11{,}5^2 + 5{,}8^2 + 3{,}8^2 + 5{,}0^2 + 5{,}0^2 + \\ &\quad 5{,}3^2 + 5{,}3^2 + 6{,}0^2 + 8{,}0^2 + 13{,}3^2 + 11{,}8^2 + 8{,}3^2 + \\ &\quad 8{,}8^2 + 12{,}0^2 + 8{,}5^2 + 12{,}8^2 + 13{,}3^2 + 13{,}3^2 + 13{,}3^2 + \\ &\quad 11{,}8^2 + 13{,}0^2 + 13{,}5^2 + 2{,}8^2 + 7{,}5^2 + 4{,}5^2 + 3{,}3^2 + \\ &\quad 1{,}5^2 + 4{,}5^2 + 6{,}8^2 + 4{,}3^2) - F_C \\ &= 2\,561{,}81 - 2\,107{,}63 \\ &= 454{,}18 \end{aligned}$$

Somme des carrés (de l'erreur) La différence entre la somme des carrés du total ($S_{c.err.}$) et la somme des carrés de toutes les sources précisées de variation (dégustateurs, traitements).

$$\begin{aligned} S_{c.err.} &= 454{,}18 - 291{,}59 - 48{,}52 \\ &= 114{,}07 \end{aligned}$$

Degrés de liberté (des traitements) ($d_{l.tr.}$) Le nombre de traitements moins un.

$$d_{l.tr.} = 4 - 1$$
$$= 3$$

Degrés de liberté (des dégustateurs) ($d_{l.dég.}$) Le nombre de dégustateurs moins un.

$$d_{l.suj.} = 8 - 1$$
$$= 7$$

Degrés de liberté (du total) ($d_{l.t.}$) Le nombre total de jugements moins un.

$$d_{l.t.} = 32 - 1$$
$$= 31$$

Degrés de liberté (de l'erreur) ($d_{l.err.}$) Le degré de liberté du total moins les autres degrés de liberté.

$$d_{l.err.} = 31 - 7 - 3$$
$$= 21$$

Carré moyen (CM) Pour une variable donnée, la somme des carrés de cette variable divisée par le nombre applicable de degrés de liberté.

$$CM_{tr.} = 291,59/3$$
$$= 97,20$$
$$CM_{dég.} = 48,52/7$$
$$= 6,93$$
$$CM_{err.} = 114,07/21$$
$$= 5,43$$

Rapport des variances (des traitements) ($F_{tr.}$) Le carré moyen des traitements divisé par le carré moyen de l'erreur.

$$F_{tr.} = 97,20/5,43$$
$$= 17,9$$

Rapport des variances (des dégustateurs) ($F_{dég.}$) Le carré moyen des dégustateurs divisé par le carré moyen de l'erreur.

$$F_{dég.} = 6,93/5,43$$
$$= 1,3$$

Le tableau 5 résume l'analyse de la variance.

Tableau 5 Analyse de la variance des résultats de l'évaluation portant sur la dureté des saucisses fumées

Source de variation	d_l	S_c	CM	F
Traitements	3	291,59	97,20	17,9**
Dégustateurs	7	48,52	6,93	1,3
Erreur	21	114,07	5,43	
Total	31	454,18		

**$P \leq 0{,}01$

Pour déterminer si la différence entre les traitements est notable, on vérifie F calculé (17,9) à l'aide de la table statistique 9. Avec trois degrés de liberté au numérateur et 21 degrés de liberté au dénominateur, le rapport des variances (F) doit dépasser 3,07 pour être notable avec une probabilité de 0,05 (*) et il doit dépasser 4,87 pour être notable avec un $P \leq 0{,}01$ (**). La valeur de 17,9 est donc notable avec une probabilité de 0,01. Nous concluons qu'il y avait une différence de dureté entre les quatre marques de saucisses fumées.

Essai de Tukey

On peut déterminer les traitements différents les uns des autres au moyen de l'essai de Tukey de comparaisons multiples (Snedecor et Cochran, 1989). Les comparaisons multiples (ex. essais de Scheffé, de Tukey, de Newman-Keuls, de Duncan et la moindre différence notable de Fisher) sont des mesures utiles de comparaison des moyennes de traitements qualitatifs sans ordre apparent, comme dans le cas des quatre marques de saucisses. Cependant, les comparaisons multiples ne conviennent pas lorsque :

- les traitements sont une variable quantitative graduelle, tel le sucre ajouté au café à raison de 5, 10 ou de 15 %;
- les traitements sont des combinaisons factorielles de facteurs, c'est-à-dire que, à chaque niveau de chaque facteur correspond chaque niveau de tous les autres facteurs;
- les comparaisons qui représentent un intérêt particulier sont notées à l'étape des préparatifs.

Pour un exposé des solutions de rechange aux comparaisons multiples, consulter Petersen (1977) ou Little (1978).

L'erreur type de la moyenne des traitements est calculée ci-dessous au moyen des chiffres du tableau 5.

Erreur type de la moyenne des traitements ($E.T._{m.t.}$) La racine carrée du carré moyen de l'erreur divisée par le nombre de jugements posés sur chaque échantillon.

$$\text{E.T.}_{\text{m.t.}} = \sqrt{5,43/8}$$
$$= \sqrt{0,68}$$
$$= 0,82$$

Selon la table statistique 7, pour quatre traitements et 20 degrés de liberté, la valeur notable de l'intervalle obtenue de la loi *t* de Student avec $P = 0,05$ est de 3,96. Pour 21 degrés de liberté, la valeur interpolée serait d'environ 3,95.

Moindre différence notable (M.D.S.) Le produit de l'erreur type de la moyenne des traitements multipliée par la valeur tirée de la table.

$$\text{M.D.S.} = 3,95 \times 0,82$$
$$= 3,24$$

Ainsi, les moyennes de deux échantillons qui diffèrent entre elles par 3,24 ou plus sont notablement différentes avec $P \leq 0,05$.

Classer les moyennes de chaque traitement dans l'ordre descendant.

C	B	A	D
12,44	9,19	6,44	4,40

Comparer chaque moyenne avec les autres pour voir si l'écart entre chacune est de 3,24 ou plus.

$$C - D = 12,44 - 4,40 = 8,04 > 3,24$$
$$C - A = 12,44 - 6,44 = 6,00 > 3,24$$
$$C - B = 12,44 - 9,19 = 3,25 > 3,24$$

C diffère donc notablement de tous les autres échantillons.

$$B - D = 9,19 - 4,40 = 4,79 > 3,24$$
$$B - A = 9,19 - 6,44 = 2,75 < 3,24$$

B diffère notablement de D mais non de A.

$$A - D = 6,44 - 4,40 = 2,04 < 3,24$$

A et D ne sont donc pas notablement différents.

Pour indiquer les différences, on accole des lettres aux moyennes. Même si, dans un souci de précision, nous avons conservé dans nos calculs deux chiffres après la virgule décimale, ici, les résultats sont présentés avec un seul chiffre après cette virgule. Les valeurs non suivies de la même lettre diffèrent de façon notable avec $P \leq 0,05$.

C	B	A	D
12,4a	9,2b	6,4bc	4,4c

Échelle non graduée avec répétitions

Le deuxième exemple que nous fournissons sur l'échelle non graduée comprend une analyse de la variance avec répétition. Cet exemple serait typique d'un jury dont les membres possèdent une certaine formation. Les

évaluations obtenues de consommateurs ne sont pas soumises à ces répétitions.

Exemple On a évalué le caractère juteux de pommes. Chaque dégustateur reçoit quatre pommes, chacune d'une variété (traitement) différente au cours de chacune des trois journées (répétitions). X constitue le témoin. Les trois nouvelles variétés sont désignées par A, B et C. Les écarts causés par les traitements, les dégustateurs, les répétitions et leurs interactions sont répartis selon le tableau 6. Pour les détails de la méthode d'analyse de la variance, voir l'exemple précédent.

Table 6 Pointages accordés au caractère juteux de pommes

Dégustateurs	Traitements												Total
	X			A			B			C			
	Répétition			Répétition			Répétition			Répétition			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	8,5	7,1	5,6	7,9	8,2	7,9	10,4	9,4	7,7	6,1	6,2	6,3	91,3
2	7,2	7,0	6,8	7,8	7,0	8,2	9,9	9,2	8,9	8,1	7,4	7,8	95,3
3	8,4	6,1	6,6	7,6	7,8	5,9	9,7	8,4	7,4	6,7	6,4	6,3	87,3
4	7,3	4,5	7,8	7,9	7,2	6,7	9,0	8,6	9,5	7,4	5,5	4,7	86,1
5	6,4	7,1	4,4	6,9	6,8	6,0	6,7	9,0	7,6	5,8	3,4	5,0	75,1
6	8,0	6,3	7,7	7,5	7,0	7,1	8,6	9,2	9,7	7,0	6,7	6,4	91,2
7	6,9	5,4	6,1	7,4	7,2	7,1	8,5	7,5	7,8	5,0	4,4	4,8	78,1
8	8,2	6,0	5,8	7,3	6,0	7,3	7,9	8,6	8,7	5,3	4,0	5,0	80,1
Total de chaque répétition de chaque traitement	60,9	49,5	50,8	60,3	57,2	56,2	70,7	69,9	67,3	51,4	44,0	46,3	684,5
Total de chaque traitement	X = 161,2			A = 173,7			B = 207,9			C = 141,7			
Total de chaque répétition				1 = 243,3			2 = 220,6			3 = 220,6			

Facteur de correction :

$$\begin{aligned} F_C &= \text{total}^2/\text{nombre de réponses} \\ &= (684{,}5^2)/(8 \times 4 \times 3) \\ &= 4\,880{,}63 \end{aligned}$$

Somme des carrés (des traitements) :

$$\begin{aligned} S_{c.tr.} &= (\text{somme des carrés du total de chaque traitement/nombre de jugements portés sur chaque traitement}) - F_C \\ &= [(161{,}2^2 + 173{,}7^2 + 207{,}9^2 + 141{,}7^2)/24] - F_C \\ &= 4\,977{,}44 - 4\,880{,}63 \\ &= 96{,}81 \end{aligned}$$

Somme des carrés (des dégustateurs) :

$$S_{c.dég.} = \text{(somme des carrés du total de chaque dégustateur/nombre de jugements portés par chaque dégustateur)} - F_C$$
$$= [(91,3^2 + 95,3^2 + 87,3^2 + \ldots + 80,1^2)/12] - F_C$$
$$= 4\,910,45 - 4\,880,63$$
$$= 29,82$$

Somme des carrés (des répétitions) :

$$S_{c.rép.} = \text{(somme des carrés du total de chaque répétition/nombre de jugements portés sur chaque répétition)} - F_C$$
$$= [(243,3^2 + 220,6^2 + 220,6^2)/32] - F_C$$
$$= 4\,891,36 - 4\,880,63$$
$$= 10,73$$

Somme des carrés (du total) :

$$S_{c.t.} = \text{(somme des carrés du total de chaque jugement)} - F_C$$
$$= (8,5^2 + 7,2^2 + 8,4^2 + \ldots + 4,8^2 + 5,0^2) - 4\,880,63$$
$$= 5\,068,93 - 4\,880,63$$
$$= 188,30$$

Somme des carrés (de l'erreur) :

$$S_{c.err.} = S_{c.t.} - S_{c.tr.} - S_{c.dég.} - S_{c.rép.}$$
$$= 188,30 - 96,81 - 29,82 - 10,73$$
$$= 50,94$$

L'analyse de la variance est résumée au tableau 7.

Tableau 7 Analyse de la variance du caractère juteux de pommes

Source de variation	d_l	S_c	CM	*F*
Répétitions	2	10,73	5,37	8,8**
Dégustateurs	7	29,82	4,26	7,0**
Traitements	3	96,81	32,27	52,9**
Erreur	83	50,94	0,61	

**$P \leq 0,01$

Avec trois degrés de liberté au numérateur et 83 degrés de liberté au dénominateur, le rapport des variances (*F*) doit dépasser environ 2,7 pour être notable avec $P \leq 0,05$ (*) et environ 4,0 pour être notable avec

$P \leq 0{,}01$ (**) (table statistique 9). Le F calculé égale 52,9 pour les traitements. Il existe donc une différence notable avec $P \leq 0{,}01$ (**).

On décèle également un effet notable causé par les dégustateurs et un autre écart notable causé par les répétitions avec $P \leq 0{,}01$ (**). Le premier écart porte à croire que les dégustateurs utilisaient différentes parties de l'échelle. Il est important de déterminer si les dégustateurs donnaient un pointage cohérent aux échantillons, c'est-à-dire dans le même ordre.

L'analyse de la variance avec répétitions permet à l'analyste de vérifier la présence d'une interaction dégustateurs–traitements. L'absence de cette interaction indique que les dégustateurs sont d'accord. Pour examiner les interactions à partir des données, il faut calculer les totaux partiels suivants (tableau 8) :

Tableau 8 Totaux attribués à chaque traitement par chaque dégustateur

	Traitement			
Dégustateur	X	A	B	C
1	21,2	24,0	27,5	18,6
2	21,0	23,0	28,0	23,3
3	21,1	21,3	25,5	19,4
4	19,6	21,8	27,1	17,6
5	17,9	19,7	23,3	14,2
6	22,0	21,6	27,5	20,1
7	18,4	21,7	23,8	14,2
8	20,0	20,6	25,2	14,3

Somme des carrés (interaction traitements–dégustateurs) :

$S_{c(tr. \times \text{ dég.})}$ = (Somme des carrés du total des traitements pour chaque dégustateur/nombre de répétitions) – $S_{c.dég.} - S_{c.tr.} - F_C$.

$= [(21{,}2^2 + 21{,}0^2 + 21{,}1^2 + \ldots + 14{,}2^2 + 14{,}3^2)/3] - 29{,}82 - 96{,}81 - 4\,880{,}63$

$= 5\,019{,}63 - 29{,}82 - 96{,}81 - 4\,880{,}63$

$= 12{,}37$

Degrés de liberté (interactions traitements–dégustateurs) :

$$\begin{aligned} d_{l.(tr. \times dég.)} &= d_{l.tr.} \times d_{l.dég.} \\ &= 3 \times 7 \\ &= 21 \end{aligned}$$

L'interaction peut ensuite être ajoutée au tableau de l'analyse de la variance. La somme des carrés et les degrés de liberté de l'erreur sont les suivants :

Somme des carrés (de l'erreur) :

$$\begin{aligned} S_{c.err.} &= S_{c.t.} - S_{c.tr.} - S_{c.dég.} - S_{c.rép.} - S_{c.(tr. \times dég.)} \\ &= 188{,}30 - 96{,}81 - 29{,}82 - 10{,}73 - 12{,}37 \\ &= 38{,}57 \end{aligned}$$

Degrés de liberté (de l'erreur) :

$$\begin{aligned} d_{l.err.} &= d_{l.t.} - d_{l.tr.} - d_{l.dég.} - d_{l.rép.} - d_{l.(tr. \times dég.)} \\ &= 95 - 3 - 7 - 2 - 21 \\ &= 62 \end{aligned}$$

On vérifie maintenant, avec le nouveau carré moyen de l'erreur, les carrés moyens des répétitions, des traitements, des dégustateurs et de l'interaction traitements–dégustateurs (tableau 9).

Tableau 9 Analyse de la variance avec répétition du caractère juteux des pommes

Source de variation	d_l	S_c	CM	F
Répétitions	2	10,73	5,37	8,7**
Dégustateurs	7	29,82	4,26	6,9**
Traitements	3	96,81	32,27	52,0**
Traitements × dégustateurs	21	12,37	0,59	1,0
Erreur	62	38,57	0,62	

**$P \leq 0{,}01$

L'interaction traitements–dégustateurs n'est pas notable. Nous concluons que les dégustateurs étaient d'accord. Si cela n'était pas le cas, on pourrait repérer très facilement les dégustateurs qui ne sont pas d'accord en comparant graphiquement le total des traitements de chaque dégustateur au niveau des traitements (fig. 6). Les dégustateurs irréguliers auront des pointages différents de ceux des autres dégustateurs.

Il est également possible d'examiner de même l'interaction répétitions–traitements et l'interaction répétitions–dégustateurs. Cette dernière, si elle était notable, traduirait le fait que certains dégustateurs utilisent différentes parties de l'échelle d'évaluation, d'une répétition à

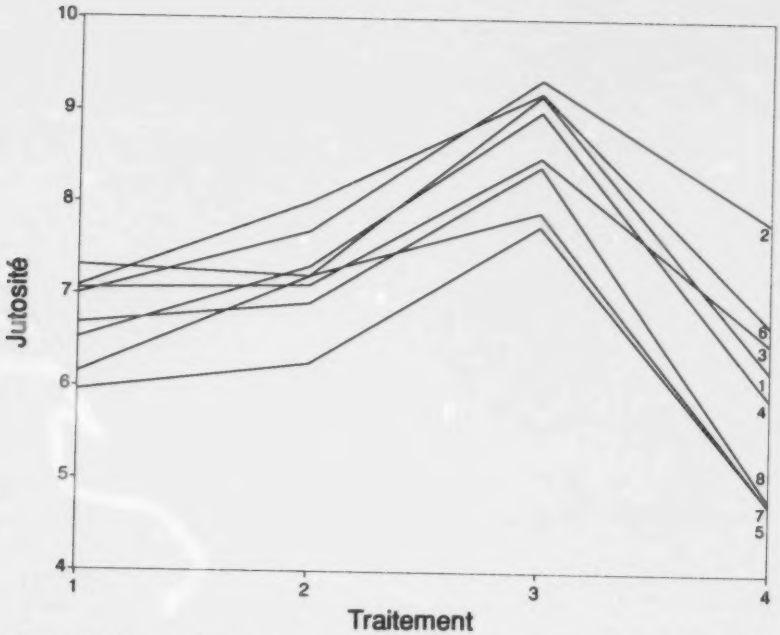


Fig. 6 Pointages du caractère juteux donnés par les dégustateurs 1 à 8

l'autre, ce à quoi l'on ne s'attend pas de la part d'un jury bien formé. Une interaction notable répétitions–traitements peut indiquer que l'effet des traitements varie d'une répétition à l'autre ou que les échantillons donnés aux différents dégustateurs ne sont pas indépendants. Cela pourra survenir, par exemple, si tous les dégustateurs prélevaient l'échantillon des mêmes rôtis. Si cette interaction est notable, le terme qui conviendrait à la vérification de l'effet des traitements serait l'interaction répétitions–traitements plutôt que la somme des carrés de l'erreur, car cette dernière peut indiquer une erreur moins grande. Si le terme n'est pas notable, on peut le grouper avec la somme des carrés de l'erreur comme dans l'analyse précédente de la variance. Cette technique de calcul des termes d'interaction peut également servir au calcul de l'interaction entre le traitement A et le traitement B. Pour plus de détails sur les interactions et le choix des termes exprimant convenablement l'erreur, consulter O'Mahony (1986). Lorsque n'importe laquelle de ces interactions est notable, il faut veiller particulièrement à l'interprétation des données. Pour tester l'interaction traitements–répétitions, utiliser le total des répétitions de chaque traitement, comme suit :

Somme des carrés (traitements–répétitions) :

$$S_{c.(tr. \times rép.)} = \text{(Somme des carrés des totaux des traitements pour chaque répétition/nombre de dégustateurs)} - S_{c.tr.} - S_{c.rép.} - F_C$$

$$= [(60{,}9^2 + 49{,}5^2 + 50{,}8^2 + \ldots + 46{,}3^2)/8] - 96{,}81 - 10{,}73 - 4\,880{,}63$$

$$= 4\,992{,}69 - 96{,}81 - 10{,}73 - 4\,880{,}63$$

$$= 4{,}52$$

Degrés de liberté (traitement par répétition) :

$$d_{l.(tr. \times rép.)} = d_{l.(tr.)} \times d_{l.(rép.)}$$

$$= 3 \times 2$$

$$= 6$$

Carré moyen (traitement par répétition) :

$$CM_{(tr. \times rép.)} = S_{c.(tr. \times rép.)}/d_{l.(tr. \times rép.)}$$

$$= 4{,}52/6$$

$$= 0{,}75$$

Pour tester ce carré moyen, le carré moyen de l'erreur doit être calculé encore une fois comme suit :

$$S_{c.err.} = S_{c.err.} \text{ antérieur} - S_{c.(tr. \times rép.)}$$

$$= 38{,}57 - 4{,}52$$

$$= 34{,}05$$

$$d_{l.err.} = S_{l.err.} \text{ antérieur} - d_{l.(tr. \times rép.)}$$

$$= 62 - 6$$

$$= 56$$

$$CM_{err.} = S_{c.err.}/d_{l.err.}$$

$$= 34{,}05/56$$

$$= 0{,}61$$

Calculer la valeur de *F* pour (tr. × R)

$$F_{(tr. \times rép.)} = CM_{(tr. \times rép.)}/S_{c.err.}$$

$$= 0{,}75/0{,}61$$

$$= 1{,}2$$

Cette valeur de *F*, avec 6 degrés de liberté au numérateur et 56 degrés de liberté au dénominateur, n'est pas supérieure à 2,3 (table statistique 9). Ainsi, le carré moyen de l'interaction traitements–répétitions n'est pas notable, et l'analyse antérieure de la variance est appropriée. Si on utilisait un logiciel statistique, on pourrait calculer toutes les interactions qui intéressent l'analyse. Il faut veiller à choisir le bon terme exprimant correctement l'erreur.

Essai de Dunnett

L'analyse de la variance a montré une différence notable dans le caractère juteux de quatre variétés (traitements) de pommes. La variété X est le témoin, et l'analyste veut savoir si les variétés A, B et C diffèrent de X. Si nous souhaitons comparer plusieurs traitements avec un témoin, l'essai de Dunnett convient. Cet essai peut être soit bilatéral (les autres traitements diffèrent-ils quant au caractère juteux?) ou unilatéral (par exemple, les autres variétés sont-elles plus juteuses?). Pour un traitement plus approfondi des essais unilatérals et bilatérals, consulter O'Mahony (1986). Dans le cas qui nous occupe, nous allons utiliser un essai unilatéral. Les calculs sont très semblables à ceux de l'essai de Tukey, mais on utilise une table différente :

On calcule l'erreur type des moyennes des traitements.

$$\begin{aligned} E.T_m &= \sqrt{0,62/24} \\ &= \sqrt{0,026} \\ &= 0,16 \end{aligned}$$

Selon la table statistique 10, la valeur qui correspond à quatre traitements (trois sans étalon) et à 60 degrés de liberté est de 2,10 ($P = 0,05$).

Calculer la moindre différence notable pour $P = 0,05$ en multipliant la valeur tirée de la table par la racine carrée de 2 et par $E.T_m$:

$$\begin{aligned} M.D.S.\ (0,05) &= 2,10 \times \sqrt{2} \times 0,16 \\ &= 0,48 \end{aligned}$$

Ordonner les moyennes des traitements en regard de la moyenne du témoin, dans l'ordre croissant.

X	C	A	B
6,72	5,90	7,24	8,66

Comparer chaque moyenne de traitement avec celle de l'étalon pour voir si elle est notablement plus élevée que celle de l'étalon. Si le traitement reçoit 0,48 ou plus que le témoin, il est notablement plus juteux avec $P \leq 0,05$.

$$\begin{aligned} C - X &= 5,90 - 6,72 = -0,82 < 0,48 \\ A - X &= 7,24 - 6,72 = 0,52 > 0,48 \\ B - X &= 8,66 - 6,72 = 1,94 > 0,48 \end{aligned}$$

On peut présenter les résultats de la façon suivante :

X	C	A	B
6,7	5,9	7,2*	8,7*

Ainsi, nous concluons que les variétés A et B sont plus juteuses que l'étalon X avec $P \leq 0,05$ (*).

Échelle de variations relatives

Elle est fréquemment utilisée en physique. Les échelles de poids et de distance en sont des exemples. Ainsi, une distance de 40 km est deux fois plus grande qu'une distance de 20 km. On peut calculer des rapports de mesures. En analyse sensorielle, on utilise également des échelles de variations relatives. Les mesures de rapport sont habituellement établies au moyen d'une méthode appelée évaluation de la grandeur (Moskowitz, 1988*a*). On présente aux dégustateurs les échantillons dans un ordre aléatoire qui varie pour une caractéristique telle que la dureté. On leur demande d'attribuer un pointage au premier échantillon, puis, à l'égard de chaque échantillon ultérieur, d'attribuer un pointage relatif à celui du premier échantillon. Si le deuxième échantillon semble au dégustateur deux fois plus dur que le premier et si, à ce dernier, le dégustateur a donné 50 points, il reçoit 100 points. S'il semble deux fois moins dur, son pointage sera de 25.

L'évaluation de la grandeur convient le plus à l'évaluation d'une grandeur dont aucune valeur ne se rapproche du seuil. Il faut transformer les données d'évaluation d'amplitude en logarithmes avant d'effectuer des analyses convenables de la variance (Butler *et al.*, 1987). Comme il n'existe pas de logarithme de zéro, cette valeur fait problème. Cependant, si aucun des produits n'est près du seuil il n'y aura probablement pas de zéros. Si les zéros apparaissent, il faut ajouter un petit nombre arbitraire à tous les résultats (Steel et Torrie, 1980). Voici un exemple de fiche d'évaluation de la grandeur.

FICHE D'ÉVALUATION DE LA GRANDEUR

PRODUIT : gélatine

NOM _____ DATE _____

Veuillez évaluer la dureté des échantillons de gel. Attribuer une valeur au premier échantillon, puis une valeur relative à chacun des autres échantillons par rapport à la dureté relative du premier échantillon.

Échantillons	*Dureté*
649	_____
872	_____
259	_____
138	_____

Observations :

Exemple On s'est servi de l'évaluation de la grandeur pour déceler une différence éventuelle de dureté entre plusieurs échantillons de gel fabriqués avec différentes quantités de gélatine (tableau 10). On calcule les logarithmes (naturel), puis les totaux et les moyennes (tableau 11).

Tableau 10 Résultats de l'évaluation de la grandeur portant sur des échantillons de gel

Dégustateur	Traitement			
	1 (649)	2 (872)	3 (259)	4 (138)
1	50	100	150	200
2	150	400	600	700
3	100	200	300	400
4	75	75	90	100
5	6	8	10	11
6	100	150	200	300
7	150	100	200	300
8	50	70	85	100
9	30	60	100	120
10	50	60	100	125

Tableau 11 Évaluation d'amplitude (logarithmes)

Dégustateur	Traitement				Total
	1 (649)	2 (872)	3 (259)	4 (138)	
1	3,912	4,605	5,011	5,298	18,826
2	5,011	5,991	6,397	6,551	23,950
3	4,605	5,298	5,704	5,991	21,598
4	4,317	4,317	4,500	4,605	17,739
5	1,792	2,079	2,303	2,398	8,572
6	4,605	5,011	5,298	5,704	20,618
7	5,011	4,605	5,298	5,704	20,618
8	3,912	4,248	4,443	4,605	17,208
9	3,401	4,094	4,605	4,787	16,887
10	3,912	4,094	4,605	4,828	17,439
Total	40,478	44,342	48,164	50,471	183,455
Moyenne	4,048	4,434	4,816	5,047	18,346

NOTA **Nous invitons les lecteurs qui ne connaissent pas l'analyse de la variance à lire la description complète intitulée « Échelle non graduée ou analogique ».**

Facteur de correction :

$$F_C = 183{,}455^2/40$$
$$= 841{,}393$$

Somme des carrés (des traitements) :

$$S_{c.tr.} = (40{,}478^2 + 44{,}342^2 + \ldots + 50{,}471^2)/10 - F_C$$
$$= 8\,471{,}77/10 - F_C$$
$$= 847{,}177 - 841{,}393$$
$$= 5{,}784$$

Somme des carrés (des dégustateurs) :

$$S_{c.dég.} = (18{,}826^2 + 23{,}950^2 + \ldots + 17{,}439^2)/4 - F_C$$
$$= 3\,518{,}254/4 - F_C$$
$$= 879{,}564 - 841{,}393$$
$$= 38{,}171$$

Somme des carrés (du total) :

$$S_{c.t.} = (3{,}912^2 + 5{,}011^2 + \ldots + 4{,}828^2) - F_C$$
$$= 886{,}713 - 841{,}393$$
$$= 45{,}320$$

Le tableau 12 résume l'analyse de la variance.

Tableau 12 Analyse de la variance de la fermeté du gel

Source de variation	d_l	S_c	MS	*F*
Traitement	3	5,784	1,928	37,8**
Dégustateurs	9	38,171	4,241	83,2**
Erreur	27	1,365	0,051	

**$P \leq 0{,}01$

Pour le traitement, *F* vaut 37,8. Selon la table statistique 9, si *F* excède 2,96, la différence est notable avec $P \leq = 0{,}05$ (*); si *F* dépasse 4,40, la différence est notable avec $P \leq = 0{,}01$ (**).

Dans l'exemple, les traitements consistent en quatre quantités ordonnées de gélatine (20, 25, 30 et 35 g) ajoutée à 800 mL d'eau ou, si l'on se place sur l'échelle logarithmique, 2,996, 3,219, 3,401 et 3,555. Lorsque

les traitements consistent en des concentrations ordonnées, il convient souvent d'examiner une régression des moyennes des concentrations. Dans l'évaluation de l'amplitude, on a décidé (Stevens, 1956) que les traitements et les concentrations seraient reliés comme suit :

$$\log Y = \alpha + \beta \log X + \epsilon$$

où Y est la moyenne des traitements

X est la concentration correspondant au traitement

ϵ est l'erreur

α et β sont à estimer.

Pour déterminer la régression linéaire de log Y sur log X, on procède comme suit sur l'échelle logarithmique.

Coefficient de correction du numérateur ($C_{c.h.}$) Le produit de la somme des moyennes des traitements par la somme des moyennes des concentrations, divisé par le nombre de concentrations.

$$\begin{aligned} C_{c.n.} &= [(4{,}048 + 4{,}434 + 4{,}816 + 5{,}047) \times (2{,}996 + 3{,}219 + 3{,}401 + 3{,}555)]/4 \\ &= (18{,}345 \times 13{,}171)/4 \\ &= 241{,}6\,220/4 \\ &= 60{,}4\,055 \end{aligned}$$

Numérateur (NUM.) La somme des produits de chaque concentration par la moyenne qui lui correspond moins le coefficient de correction du numérateur, le tout multiplié par le nombre de dégustateurs.

$$\begin{aligned} \text{NUM.} &= [(2{,}996 \times 4{,}048) + (3{,}219 \times 4{,}434) + (3{,}401 \times 4{,}816) + (3{,}555 \times 5{,}047) - C_{c.h.}] \times 10 \\ &= [60{,}7222 - 60{,}4055] \times 10 \\ &= 0{,}3167 \times 10 \\ &= 3{,}167 \end{aligned}$$

Coefficient de correction du dénominateur ($C_{c.d.}$) Le carré de la somme des concentrations divisé par le nombre de concentrations.

$$\begin{aligned} C_{c.d.} &= (2{,}996 + 3.219 + 3{,}401 + 3{,}555)^2/4 \\ &= 13{,}171^2/4 \\ &= 173{,}4752/4 \\ &= 43{,}3688 \end{aligned}$$

Dénominateur (DÉN.) La somme des carrés des concentrations moins le coefficient de correction du dénominateur, le tout multiplié par le nombre de dégustateurs.

$$\text{DÉN.} = [(2{,}996^2 + 3{,}219^2 + 3{,}401^2 + 3{,}555^2) - C_{c.d.}] \times 10$$
$$= [8{,}9760 + 10{,}3620 + 11{,}5668 + 12{,}6380 - 43{,}3688] \times 10$$
$$= 0{,}1740 \times 10$$
$$= 1{,}740$$

Pente (β). – Quotient du numérateur divisé par le dénominateur.

$$\beta = 3{,}167/1{,}740$$
$$= 1{,}82$$

Point d'intersection de la courbe sur l'axe des Y (α) La somme de la moyenne des traitements moins la pente multipliée par la somme des concentrations, le tout divisé par le nombre de concentrations.

$$\alpha = (18{,}346 - 1{,}82 \times 13{,}171)/4$$
$$= (18{,}346 - 23{,}971)/4$$
$$= -5{,}625/4$$
$$= -1{,}41$$

Somme des carrés (de la régression) ($S_{c.r.}$) Le numérateur au carré divisé par le dénominateur.

$$S_{c.r.} = \text{NUM.}^2/\text{DÉN.}$$
$$= 3{,}167^2/1{,}74$$
$$= 5{,}764$$

Somme des carrés (de l'écart par rapport à la régression) ($S_{c.é.}$) La somme des carrés du traitement moins la somme des carrés de la régression.

$$S_{c.é.} = S_{c.tr.} - S_{c.r.}$$
$$= 5{,}784 - 5{,}764$$
$$= 0{,}020$$

Les résultats de l'analyse de la variance peuvent être résumés comme dans le tableau 13.

Tableau 13 Analyse de la variance de la dureté d'un gel

Source de variation	d_l	S_c	CM	F
Traitements	3	5,784	1,928	37,8**
Régression log/log	(1)	5,764	5,764	113,0**
Écart par rapport à la régression	(2)	0,020	0,010	0,2
Dégustateurs	9	38,171	4,241	83,2**
Erreur	27	1,365	0,051	

**$P \leq 0{,}01$

En regard de la régression du logarithme de l'effet des traitements sur le logarithme des concentrations, F, qui vaut 113, dénote fortement un effet linéaire sur l'échelle logarithmique. L'écart par rapport à cette courbe n'est pas notable, ce qui indique que cette courbe est très bien ajustée (fig. 7). Voici l'équation de cette dernière :

$$\log Y = -1{,}41 + 1{,}82 \log X + \epsilon$$

Ce procédé ne se limite pas à l'évaluation de la grandeur, mais elle peut également servir toutes les fois que l'on pose une relation linéaire entre les pointages et les valeurs d'une variable (traitement). Si les valeurs sont également dispersées, les calculs peuvent être simplifiés par l'emploi de polynômes orthogonaux (Steel et Torrie, 1980). Pour les relations plus complexes, le lecteur est invité à consulter Cochran et Cox (1957). Souvent, un graphique représente le mieux les résultats.

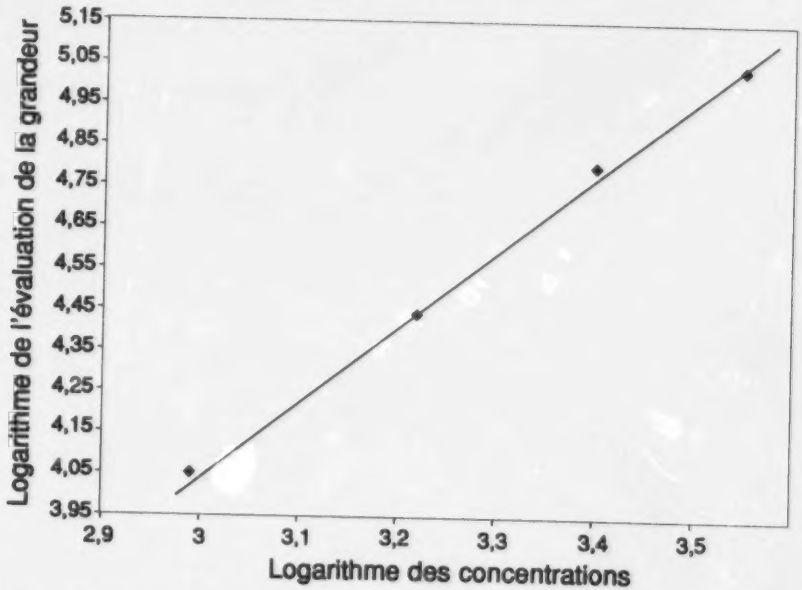


Fig. 7 Logarithme de l'évaluation de la grandeur en fonction du logarithme des concentrations

Méthodes d'analyse descriptive

Les méthodes d'échelle que nous venons de décrire peuvent servir à évaluer une seule ou plusieurs caractéristiques sensorielles d'un produit. Les méthodes d'analyse descriptive ont été mises au point pour décrire de façon plus complète la qualité sensorielle d'un produit ou pour en donner le profil. Trois de ces méthodes sont la méthode d'établissement du profil de la

flaveur, la méthode d'établissement du profil de la texture et la méthode d'analyse descriptive quantitative.

Profil de la flaveur

Cette méthode a été mise au point par la société Arthur D. Little, Cambridge (Massachusetts) en 1949 (Cairncross et Sjostrom, 1950; Caul, 1957). Elle permet l'analyse descriptive détaillée, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, de la flaveur d'un produit. Les dégustateurs formés à cette fin analysent les caractéristiques de la flaveur d'un produit et en discutent librement entre eux pour en arriver à un consensus. Le profil final décrit l'odeur et la flaveur du produit selon leurs facteurs détectables, l'intensité de ces derniers et l'ordre de leur détection, y compris tout arrière-goût et toute impression d'ensemble. La sélection des dégustateurs se fonde sur la discrimination gustative et olfactive ainsi que sur leur aptitude à décrire un phénomène (voir « Sélection et formation des dégustateurs »). Au cours du long processus de formation, les dégustateurs sont initiés aux principes fondamentaux de la méthode ainsi qu'aux aspects physiques et physiologiques de la dégustation et de l'olfaction. Pour les aider à créer et à préciser la terminologie qu'ils utiliseront, on leur présente une large sélection d'étalons de référence représentant la gamme de produits ainsi que des échantillons qui montrent l'effet des variables de composition et des processus de transformation.

Durant une séance de détermination du profil de la flaveur, quatre à six dégustateurs qui ont reçu une formation s'assoient autour d'une table. Ils analysent d'abord le ou les produits un par un, puis discutent de leurs évaluations en commun. Les produits sont analysés un à la fois, selon les caractéristiques suivantes : les sensations olfactives, la flaveur, la sensation en bouche, toutes appelées « notes », selon une échelle des intensités ainsi généralement subdivisée :

0 = absent(e)
)(= seuil
1 ou + = léger (légère)
2 ou + + = modéré(e)
3 ou + + + = fort(e)

Parfois, par exemple, lorsqu'ils comparent deux produits très semblables, les dégustateurs peuvent imaginer des échelles plus étroites, en utilisant les symboles tels que 1/2, + (plus), ou - (moins) (Caul, 1957). L'ordre d'apparition de ces notes est indiqué de même que tout arrière-goût.

Les dégustateurs indiquent leur impression générale de l'odeur et de la flaveur et l'amplitude de ces dernières en utilisant l'échelle suivante :

)(= très bas(se)
1 = faible
2 = moyen(ne)
3 = élevé(e)

Comme le profil final de la flaveur du produit est le résultat d'un consensus, on ne peut effectuer d'analyse statistique des intensités. Pour contourner cette limite, on peut utiliser des échelles catégorielles ou des échelles analogiques à la place de l'échelle standard des 0,)(, 1, 2 et 3, et les dégustateurs peuvent porter des jugements individuels plutôt que de rechercher le consensus.

Voici un exemple de fiche de pointage qui pourrait être utilisée pour établir le profil de la flaveur d'une bière :

FICHE D'ÉVALUATION POUR L'ÉTABLISSEMENT DU PROFIL DE LA FLAVEUR

PRODUIT : bière

NOM _____ **DATE** _____

ODEUR	
Amplitude	_____
	Intensité
houblonnée	_____
fruitée	_____
aigre	_____
de levure	_____
de malt	_____
FLAVEUR	
Amplitude	_____
	Intensité
piquante (carbonation)	_____
sucrée	_____
fruitée	_____
amère	_____
de malt	_____
de levure	_____
de métal	_____
astringente	_____
ARRIÈRE-GOÛT	_____

Observations :

Durant la discussion, les dégustateurs doivent en arriver à une évaluation unanime du produit. Le chef du jury réunit les conclusions des dégustateurs en une description concise du profil de la flaveur du produit.

Les profils de flaveur sont souvent représentés par un diagramme semi-circulaire (fig. 8). Le demi-cercle dénote les concentrations seuils, les rayons correspondant à chaque note (dans leur ordre de sensation), tandis que la longueur des traits représente l'intensité subjective (Cairncross et Sjostrom, 1950).

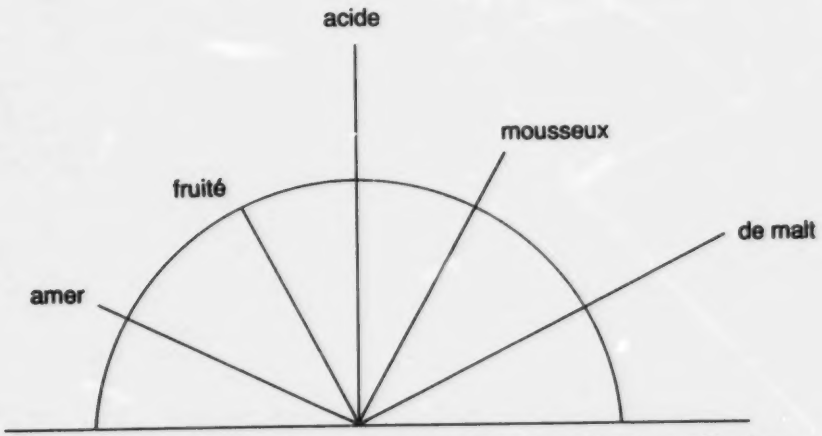


Fig. 8 Représentation, sous forme de diagramme, des caractéristiques olfactives du profil de flaveur d'un échantillon de bière

Profil de la texture

Cette méthode a été mise au point au Centre de recherches de la société General Foods par Margaret Brandt et Alina Szczesniak (Brandt *et al.*, 1963; Szczesniak, 1963). Elle consiste à classer les paramètres de la texture d'un aliment non seulement selon leurs qualités mécaniques et géométriques, mais également selon les propriétés reliées à la teneur en graisses et en humidité. On obtient ainsi une description quantitative et qualitative de même que des renseignements sur l'intensité de chaque paramètre de texture et l'ordre dans lequel ce paramètre se manifeste, de la première bouchée jusqu'à la fin de la mastication.

La sélection des dégustateurs se fonde sur leurs aptitudes à distinguer des textures et à les décrire. Durant la formation, les dégustateurs sont initiés aux principes de la texture, en ce qui a trait à la structure des aliments. En étant soumis à la dégustation d'une grande gamme de produits alimentaires, ils acquièrent une large expérience des caractéristiques de texture (Civille et Szczesniak, 1973). Szczesniak et collègues (1963) ont mis au point des échelles de pointage pour chacune des différentes caractéristiques

de texture qui sont utiles au cours de la formation des jurys. Il y a des échelles pour la dureté, la friabilité, la résistance à la dent, la tendance à coller et la viscosité, et, pour chaque point de ces échelles, on fournit des étalons de référence. Les aliments de référence sont normalisés quant au nom commercial, à la manutention, à la grosseur de l'échantillon et à la température. On peut remplacer un aliment de référence pour autant que le nouvel aliment de référence appartienne à une grande marque de qualité assez constante, qu'il exige une préparation minimale, de façon à prévenir les causes possibles de variations et qu'il ne change pas considérablement à de petites variations de température. Le tableau 14 montre un exemple d'échelle de dureté.

Tableau 14 Échelle normalisée de dureté

Valeur	Produit	Marque ou type	Grosseur de l'échantillon	Température (°C)
1	Fromage à la crème	Philadelphia Kraft	cube de 1,5 cm	7 à 13
2	Blanc d'œuf	Oeuf dur (5 min de cuisson)	1,5 cm de l'extrémité	20 à 25
3	Saucisses fumées	Schneiders, grosses	tranche de 1,5 cm	10 à 18
4	Fromage	Cheddar doux Kraft	cube de 1,5 cm	10 à 18
5	Olives	Farcies, calibre reine, McLaren's	1 olive farce enlevée	10 à 18
6	Arachides	Type cocktail	1 arachide	20 à 25
7	Carottes	Fraîches et crues	tranche de 1,5 cm	20 à 25
8	Amandes	McNair, non mondées	1 amande	20 à 25
9	Bonbons à la menthe	McCormick	1	20 à 25

Source : adapté de Szczesniak *et al.* (1963).

Chaque échelle couvre toute la gamme d'intensité des caractéristiques de texture observées dans les aliments. L'échelle est d'abord présentée dans son entier afin de familiariser les dégustateurs avec les paramètres spécifiques de texture. Ensuite, la partie de l'échelle qui correspond aux extrêmes des paramètres de texture du produit ou des produits à évaluer est déterminée et élargie. À l'origine, pour déterminer le profil de texture, on se servait d'une version élargie en 14 points de l'échelle du profil de flaveur. Dernièrement, toutefois, on s'est servi d'échelles graduées, non graduées ou de l'évaluation de la grandeur. Par exemple, la dureté de trois nouvelles saucisses fumées doit être évaluée. Trois points de l'échelle, le numéro 2 (blanc d'œuf), le numéro 3 (saucisses fumées) et le numéro 4 (fromage) recouvrent les extrêmes de dureté des trois nouveaux produits à évaluer. Cette échelle en trois points peut être élargie en prévoyant des

points de référence au moyen de produits à base de saucisse fumée entre les deux points extrêmes que sont le blanc d'œuf et le fromage. Cette marche à suivre est répétée pour chaque caractéristique de texture qui se trouve dans le produit.

À l'origine, la méthode employée pour établir le profil de texture comportait une discussion de groupe et l'établissement d'un consensus tout comme avec la méthode employée pour établir le profil de flaveur. Toutefois, il est maintenant plus fréquent de faire évaluer une à la fois les caractéristiques de la texture de chaque échantillon, à l'aide des échelles qui permettent de faire l'analyse statistique des résultats.

Analyse descriptive quantitative

Cette méthode d'analyse sensorielle a été mise au point à l'Institut de recherches de Stanford (Stone *et al.*, 1974). Elle consiste à faire identifier et quantifier, par des dégustateurs formés à cette fin, les propriétés sensorielles d'un produit, dans l'ordre où celles-ci se manifestent. Les caractéristiques fondamentales de la méthode sont les suivantes :

- création en commun d'une terminologie sensorielle;
- sélection des dégustateurs selon leur performance lors d'essais d'évaluation de produits;
- chaque dégustateur doit faire de 12 à 16 évaluations du même produit;
- évaluation individuelle dans des cabines;
- échelles non graduées;
- analyse de la variance pour mesurer la performance de chaque dégustateur et du jury;
- coefficient de corrélation pour déterminer les rapports entre diverses échelles;
- analyse statistique visant à déterminer les principales variables sensorielles;
- construction d'un modèle multidimensionnel et corrélation de ce dernier aux réponses des consommateurs.

On trouvera au tableau 15 un exemple des caractéristiques qui peuvent être décelées à partir de l'analyse descriptive quantitative d'une gelée à l'orange.

Stone *et al.* (1974) a proposé le type de présentation de la figure 9. La distance séparant le point médian du point de chaque caractéristique constitue la valeur moyenne de cette dernière pour chaque produit. Les erreurs types pourraient figurer sur le diagramme.

Tableau 15 Résultats de l'analyse de la variance[1] d'une gelée à l'orange par l'analyse descriptive quantitative

Descripteur	Marque A	Marque B	Erreur type[2]	Probabilité[3]
Couleur d'orange	10,2	7,9	0,62	0,011
Odeur d'orange	7,6	6,9	0,50	0,325
Fermeté	9,6	6,6	0,64	0,001
Astringence	8,6	6,9	0,66	0,072
Flaveur d'orange	7,6	6,9	0,72	0,494
Flaveur étrangère	4,3	4,8	0,48	0,464
Sucrosité	7,1	9,6	0,42	< 0,001
Vitesse de rupture	5,1	6,1	0,60	0,242

[1] Moyenne de 50 observations (5 répétitions, 10 dégustateurs).
[2] Erreur type de la moyenne fondée sur 76 degrés de liberté.
[3] Probabilité que la marque A soit égale à la marque B, quant à l'intensité du paramètre.

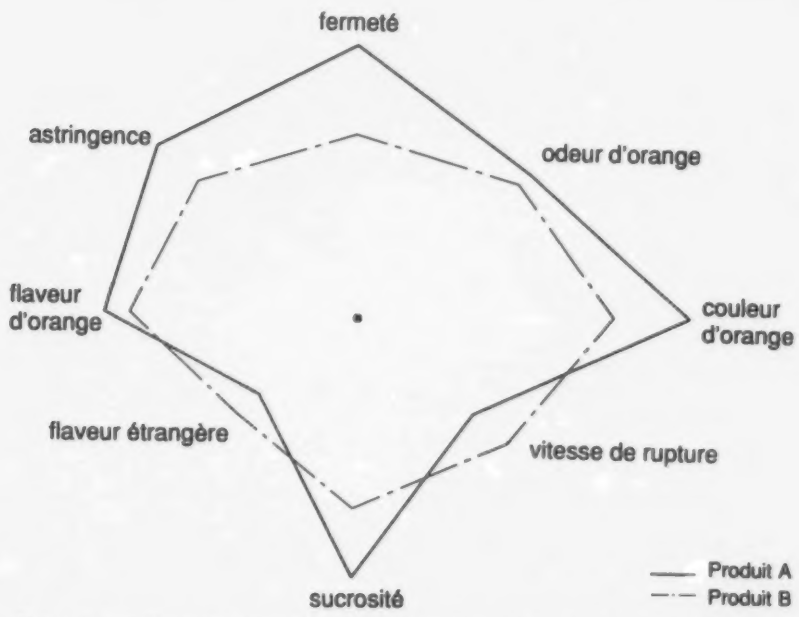


Fig. 9 Représentation graphique des données sur la gelée à l'orange

Jury du Centre de recherches sur les aliments

Le Centre de recherches sur les aliments utilise une méthode différente d'analyse de propriétés pour la formation des jurys et l'évaluation des produits. L'exemple donné plus loin décrit comment s'y prend un jury pour analyser la sauce blanche renfermant des quantités variables d'une nouvelle farine enrichie. Il s'agit d'examiner l'effet de la nouvelle farine sur la qualité sensorielle de la sauce.

D'abord, on éprouve plusieurs formulations afin de déterminer celle qui convient le mieux à la sauce blanche étalon ou témoin et, en même temps, afin de normaliser la méthode de préparation. Une fois la recette choisie, préparer les sauces en remplaçant la farine d'origine par des quantités variables de la nouvelle farine; déterminer ainsi s'il existe une quantité maximale de remplacement, selon les réactions physiques observées. Par exemple, à un degré donné de remplacement, il se pourrait que la sauce n'épaississe pas. Supposons qu'après un remplacement de 25 %, la nouvelle farine ne permette pas à la sauce d'épaissir. Les taux de remplacement à examiner devraient être fixés à 0, à 5, à 15 et à 25 %. Une fois la préparation des échantillons normalisée, la formation du jury peut commencer.

À la première séance de formation, on donne aux dégustateurs une sauce témoin (sans nouvelle farine) et une sauce renfermant 25 % de la nouvelle farine. On leur demande de comparer les propriétés sensorielles des deux échantillons et d'inscrire toute différence et similitude sur une feuille blanche. Chacun fait son évaluation. Après la séance, le chef du jury compare les réponses et groupe les observations semblables, habituellement dans l'ordre de leur perception (c'est-à-dire, visuelle, olfactive, la sensation en bouche, le goût ou la flaveur et l'arrière-goût). Par exemple, toutes les observations se rapportant aux propriétés visuelles sont groupées.

Le lendemain, on présente au jury une liste de toutes leurs observations de la veille ainsi que des termes supplémentaires proposés par le chef du jury. On demande au jury de comparer de nouveau le témoin et la sauce dont la farine a été remplacée à 25 % et, à partir de la liste des observations, qui renferme des descripteurs possibles, de décrire les différences et les similitudes entre les deux sauces. Les dégustateurs peuvent ajouter des descripteurs qui ne figurent pas sur la liste. Encore une fois, cette évaluation se fait individuellement. Le chef du jury compare ensuite les observations et identifie les descripteurs sensoriels communément utilisés par les dégustateurs. On insistera sur ces descripteurs au cours de la formation à suivre.

À la troisième séance, le jury commence à travailler avec le premier groupe d'observations sensorielles, en l'occurrence les descripteurs des sensations visuelles. On lui présente trois sauces : un témoin, une dont la farine d'origine est remplacée à 5 %, l'autre dont la farine d'origine est remplacée à 25 %. Encore une fois, au moyen de la liste fournie, les dégustateurs se prononcent individuellement sur les sauces. Leur travail terminé, ils discutent en groupe des observations qu'ils ont faites. Chaque descripteur fait l'objet d'une discussion séparée, dans l'espoir que les dégustateurs s'entendent sur l'échantillon qui possède au plus haut et au

plus bas degrés cette caractéristique sensorielle. Par exemple, si la couleur jaune constituait un descripteur, le chef du jury s'efforcerait d'établir le consensus sur la sauce la plus jaune, la moins jaune et d'un jaune intermédiaire. On s'y prend de la même façon pour chaque caractéristique sensorielle identifiée. Toute caractéristique observée par moins de la moitié des dégustateurs durant les discussions de groupe est biffée de la liste si le chef du jury convient de son inutilité. Sinon, il faut poursuivre la formation pour aider ceux à qui elle échappe.

En vue de la prochaine journée de formation, le chef du jury prépare une fiche provisoire d'évaluation sur laquelle se trouve l'échelle de chaque descripteur dont il a été question la veille. On donne aux dégustateurs des exemples sur toute caractéristique sensorielle n'ayant pas fait encore l'objet d'un consensus. Par exemple, des pastilles de couleur Munsell font des étalons utiles de couleur. Les dégustateurs discutent des étalons et évaluent chaque caractéristique sensorielle fichée des échantillons, après quoi ils discutent en groupe des échantillons. Dès que le consensus est obtenu sur les caractéristiques visuelles, la formation peut passer au groupe suivant d'observations, l'odeur dans le cas qui nous occupe.

La formation aux caractéristiques olfactives se déroule de la façon décrite pour les caractéristiques visuelles. On notera que la méthode d'évaluation des échantillons est également déterminée au cours de cette période de formation. Par exemple, l'odeur doit être évaluée comme suit : on soulève le couvercle de la saucière, on flaire trois coups brefs, puis on replace le couvercle pour que, si le dégustateur souhaite flairer de nouveau l'échantillon, l'espace d'air du récipient ait pu se saturer. Des exemples de descripteurs faisant problème sont de nouveau fournis pour favoriser le consensus. On peut se servir d'exemples réels de l'odeur identifiée, comme de la terre, ou de composés chimiques réputés pour dégager certaines notes caractéristiques, comme l'isopropyl-quinoléine, afin de reproduire une odeur terreuse. L'*Atlas of odor character profiles* d'A. Dravnieks (1985) est un guide utile pour distinguer les substances chimiques odorantes.

Les séances ultérieures portent sur les propriétés des aliments que l'on peut évaluer avec la bouche. Les dégustateurs connaissent mieux les échantillons de sorte que l'on peut faire entrer dans l'évaluation le quatrième échantillon, celui où la farine d'origine est remplacée à 15 % par la nouvelle farine. Encore une fois, il faut régler les modalités de l'évaluation de l'échantillon et les normaliser. Par exemple normaliser l'emploi d'une cuillère différente pour chaque sauce ainsi que la quantité d'échantillon portée à la bouche. Munoz (1986) est une bonne source de terminologie des textures qui pourrait être utile à la formation du jury.

La flaveur serait le dernier groupe sur lequel porterait la formation. En fournissant les échantillons qui servent d'exemple de descripteurs, se rappeler le mode de préparation des échantillons. Par exemple, si le goût de céleri est l'un des descripteurs que les dégustateurs ont identifié, on pourrait décider de leur fournir du céleri cru et du céleri cuit, parce que la sauce est cuite.

Dès que les dégustateurs ont été formés à toutes les principales propriétés sensorielles, le chef du jury rédige le bulletin final. L'ordre d'énumération de chaque caractéristique sensorielle sur le bulletin devrait refléter l'ordre de leur perception ainsi que la logistique de l'évaluation. Par exemple, même si les dégustateurs ont été formés à l'appréciation des caractéristiques visuelles d'abord, les descripteurs de l'odeur devraient figurer en premier sur le bulletin en raison de l'importance de la température de l'échantillon et de la saturation de l'espace d'air dans le récipient pour l'évaluation de l'odeur. Voici un exemple de fiche finale d'évaluation.

FICHE D'ÉVALUATION D'UNE SAUCE BLANCHE

NOM _____ DATE _____

Veuillez évaluer les échantillons dans l'ordre suivant :

361 *478* *952* *660*

Odeur :

(1) Terreuse

faible — forte

Couleur :

(2) Jaune

pâle — vif

Sensation en bouche :

(3) Granuleuse

légèrement — très

(4) Consistance

diluée — épaisse

Flaveur :

(5) Butyreuse

faible — forte

(6) Salée

faible — forte

(7) Goût de céleri

léger — prononcé

Observations :

Il faut maintenant évaluer la fiche. Les dégustateurs se prononcent sur les échantillons, comme s'ils étaient dans une séance réelle d'évaluation. Après plusieurs évaluations individuelles, les dégustateurs discutent des échantillons et des modalités de l'évaluation. Par exemple, est-ce que quatre échantillons, c'est trop? Les descripteurs sont-ils énumérés dans un ordre convenable pour l'évaluation? La terminologie des points de repère sur les échelles est-elle juste? En même temps, les dégustateurs sont évalués quant à la constance de leurs jugements. À ce sujet, le lecteur pourra consulter l'*American Meat Science Association* (1978). Tous les changements nécessaires sont faits et vérifiés avant le début des séances réelles d'évaluation.

Après un nombre suffisant de répétitions, les résultats sont informatisés en vue de l'analyse statistique. Comme les données seront analysées par l'ordinateur, il importe de déceler les erreurs qui seraient plus faciles à repérer si les calculs étaient faits à la main. Pour chaque variable, on examine les maximums, les minimums, la moyenne et la variance de chaque traitement de chaque répétition et pour chaque dégustateur. Un examen soigneux de ces paramètres aide à déceler les valeurs inhabituelles ou à découvrir des problèmes dans les données. Par exemple, si à un traitement donné correspond une variance très grande ou très petite, on ne fera pas une analyse de la variance fondée sur l'hypothèse que, pour tous les traitements, les variances sont semblables. À ce stade, il est très utile de construire des diagrammes de données. Une fois que les données sont en bon ordre, on les analyse à l'aide de la méthode statistique appropriée, en utilisant un ordinateur lorsque c'est possible. Il faut préparer un rapport ou un procès-verbal.

Essais subjectifs

Ils servent à mesurer une réaction subjective aux propriétés sensorielles d'un produit. Les résultats donnent une idée de la réaction de préférence (sélection d'un produit de préférence à un autre), d'attirance (degré d'attirance ou de réticence) ou d'acceptation (acceptation ou rejet) que suscite un produit (Pangborn, 1980). Les essais sont généralement réalisées avec un grand nombre de dégustateurs non formés pour obtenir une indication de l'attirance relative qu'exerce un produit par rapport à un autre.

Les essais subjectifs suivent habituellement les essais de discrimination et les essais descriptifs, au cours desquels le nombre de choix d'un même produit a été réduit à un sous-ensemble limité. Selon Stone et Sidel (1985), les trois principaux types d'essais subjectifs sont ceux qui sont effectués en laboratoire, en centre commercial et à domicile et proposent les nombres suivants comme réponse, respectivement : 25 à 50, ≥100 et 50 à 100. Les dégustateurs sont souvent choisis pour représenter les marchés-cibles.

Au laboratoire, les essais subjectifs servent d'étape de tri des produits afin de réduire au minimum l'évaluation de produits qui ne justifient plus d'évaluation. Le jury de laboratoire peut donner une indication de l'acceptabilité du produit et orienter le choix des produits en vue des essais en emplacement central ou au foyer qui requièrent un plus grand nombre de dégustateurs. La comparaison par paires, l'échelle hédonique et le classement sont les trois méthodes d'appréciation subjective les plus employées.

Mesure de la préférence par comparaison par paires

Elle ressemble à l'essai dont on se sert en évaluation discriminatoire. Le dégustateur doit indiquer l'échantillon qu'il préfère parmi deux échantillons codés. On n'accepte la possibilité des réponses « sans préférence » ou « les deux également déplaisants » sur le bulletin que lorsque le jury est formé de 50 dégustateurs et plus (Gridgeman, 1959; Stone et Sidel, 1985). Si l'on autorise ce genre de réponses avec un petit jury, on réduit l'efficacité statistique de l'essai (c'est-à-dire que l'on réduit la probabilité de trouver une différence entre les échantillons). Comme les dégustateurs se soucient toujours de faire le bon choix, ils se rabattent souvent sur la réponse « sans préférence » si elle est permise. Habituellement donc, on demande aux dégustateurs de choisir un échantillon, même s'ils perçoivent les deux comme semblables; il s'agit d'un essai à choix forcé.

On sert en même temps, selon une présentation identique (même grosseur d'échantillon, même température et mêmes récipients) deux échantillons codés (A et B). Deux ordres de présentation sont possibles : AB ou BA. Utiliser chaque ordre un nombre égal de fois si le jury est petit ou choisir l'ordre au hasard, si le jury est gros. L'ordre dans lequel le dégustateur doit évaluer les échantillons est indiqué sur le bulletin. Habituellement, les dégustateurs n'évaluent qu'une paire d'échantillons au cours d'un essai sans répétition. Ils sont autorisés à regoûter aux échantillons.

Le chercheur doit décider si l'essai est unilatéral ou bilatéral. S'il s'agit de confirmer un effet net d'amélioration ou de traitement sur la préférence formulée à l'égard d'un échantillon, l'essai est unilatéral. S'il s'agit de trouver quel échantillon est préféré sans que l'on puisse préjuger du résultat, l'essai est bilatéral. Le nombre total de dégustateurs qui préfèrent chaque échantillon est calculé et on en vérifie la signification selon les tables statistiques 3 ou 4. (voir « Comparaison par paires » pour savoir comment utiliser les tables.) Même si les résultats montrent qu'un échantillon est préféré à l'autre, ils ne donnent aucune indication sur l'amplitude de la préférence ni ce sur quoi cette préférence s'est fondée.

Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'essai par comparaison par paires.

FICHE D'ÉVALUATION POUR DÉTERMINER LA PRÉFÉRENCE PAR COMPARAISON PAR PAIRES

PRODUIT : biscuits

NOM_____ DATE _____

Goûter aux deux biscuits dans l'ordre suivant :

256 *697*

Quel biscuit préférez-vous? Vous devez choisir.

_____

Observations :

Exemple Pour déterminer la préférence entre deux biscuits aux brisures de chocolat, on a eu recours à un essai de préférence par comparaison par paires (fig. 10). Cinquante dégustateurs ont comparé les deux biscuits. Vingt-cinq ont dégusté le biscuit A en premier, les 25 autres le biscuit B.

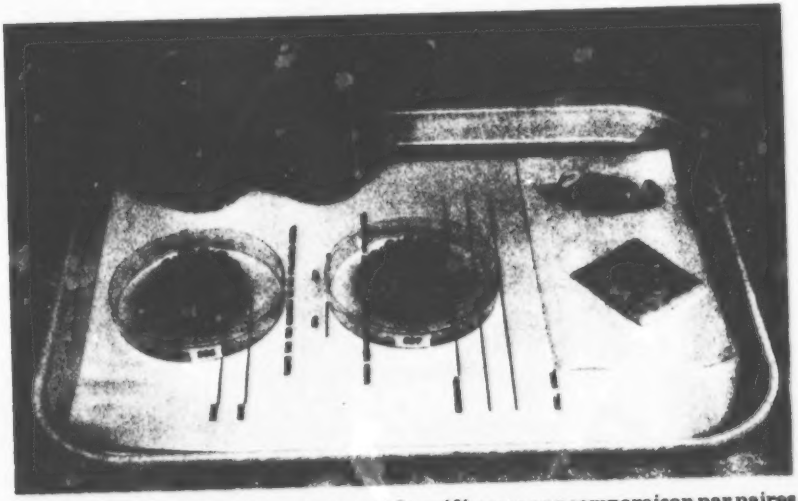


Fig. 10 Plateau préparé pour un essai de préférence par comparaison par paires

Trente-cinq des 50 dégustateurs ont préféré le biscuit B. Selon la table statistique 3, la probabilité de ce choix est de 0,007, ce qui est inférieur à la valeur critique de 0,05. On conclut donc que les dégustateurs ont préféré le biscuit B.

Échelle hédonique

L'essai le plus souvent employé pour mesurer le degré de plaisir procuré par un échantillon s'inspire de l'échelle hédonique. « Hédonique » signifie relatif au plaisir. L'échelle comprend une série d'affirmations ou de points par lesquels le dégustateur exprime le degré de plaisir ou de déplaisir qu'il éprouve à déguster un échantillon. On peut utiliser des échelles de longueur variable, mais la plus fréquente est l'échelle en neuf points, qui va de « extrêmement plaisant » à « extrêmement déplaisant », la médiane étant exprimée par l'affirmation « ni plaisant ni déplaisant » (Peryam et Girardot, 1952).

Les échantillons sont codés et servis de façon identique. L'ordre de présentation est réparti au hasard pour chaque dégustateur, et il est indiqué sur la fiche d'évaluation. Les échantillons peuvent être servis simultanément ou un à la fois.

Les réponses sont transformées en valeurs numériques qui varient de 1 pour « extrêmement déplaisant » à 9 pour « extrêmement plaisant ». Les données sont analysées soit par l'essai *t*, si l'évaluation ne porte que sur deux échantillons, ou par l'analyse de la variance, si au moins trois échantillons sont évalués. Pour en savoir plus sur l'à-propos de l'essai *t* et de l'analyse de la variance, se reporter à la partie intitulée « Échelles graduées ou catégorielles ». Une autre analyse possible serait de classer les pointages en fonction des dégustateurs et de les soumettre à l'essai de Friedman (voir « Essai de classement de Friedman » sous le titre « Essais de discrimination »).

Voici un exemple de fiche d'évaluation et de l'échelle hédonique en 9 points.

FICHE DE CLASSEMENT HÉDONIQUE

PRODUIT : fromage cottage

NOM_____ DATE _____

Veuillez évaluer quatre échantillons de fromage cottage, dans l'ordre suivant. Indiquer le degré de plaisir ou de déplaisir que vous procure chaque échantillon en cochant l'affirmation appropriée.

216	*709*	*511*	*124*
__extrêmement plaisant	__extrêmement plaisant	__extrêmement plaisant	__extrêmement plaisant
__très plaisant	__très plaisant	__très plaisant	__très plaisant
__modérément plaisant	__modérément plaisant	__modérément plaisant	__modérément plaisant
__légèrement plaisant	__légèrement plaisant	__légèrement plaisant	__légèrement plaisant
__ni plaisant ni déplaisant	__ni plaisant ni déplaisant	__ni plaisant ni déplaisant	__ni plaisant ni déplaisant
__légèrement déplaisant	__légèrement déplaisant	__légèrement déplaisant	__légèrement déplaisant
__modérément déplaisant	__modérément déplaisant	__modérément déplaisant	__modérément déplaisant
__très déplaisant	__très déplaisant	__très déplaisant	__très déplaisant
__extrêmement déplaisant	__extrêmement déplaisant	__extrêmement déplaisant	__extrêmement déplaisant

Observations :

Exemple Une échelle hédonique en 9 points sert à déterminer la marque de fromage cottage préférée. Quarante et un dégustateurs ont évalué quatre échantillons. Les données (tableau 16) ont été soumises à une analyse de la variance (tableau 17), pour vérifier la signification des résultats, et à l'essai de Tukey, pour comparer la moyenne de chaque échantillon (tableau 18). (Consulter la partie « Échelles non graduées ou analogiques » pour ce qui concerne l'analyse statistique.)

Tableau 16 Pointage hédonique attribué à quatre marques de fromages cottage

Dégustateur	Marque				Dégustateur	Marque			
	A	B	C	D		A	B	C	D
1	4	6	7	3	21	7	8	6	3
2	5	6	8	5	22	9	6	6	3
3	8	7	8	2	23	4	4	8	5
4	8	9	9	7	24	4	8	8	4
5	2	7	2	1	25	7	5	4	4
6	8	6	6	2	26	6	7	3	7
7	4	5	6	7	27	7	4	7	3
8	7	8	8	7	28	7	3	3	6
9	8	6	6	7	29	8	6	7	7
10	4	7	5	5	30	7	6	8	6
11	7	5	8	6	31	4	9	6	8
12	7	7	7	8	32	9	5	8	4
13	7	6	8	7	33	8	6	7	6
14	8	6	8	9	34	3	7	8	5
15	4	5	5	5	35	5	5	7	8
16	6	8	7	1	36	7	8	9	3
17	8	6	7	3	37	7	8	8	7
18	4	7	5	6	38	6	5	8	3
19	6	8	9	6	39	8	7	8	9
20	8	1	6	3	40	6	8	9	7
					41	5	5	6	8

Tableau 17 Analyse de la variance des résultats de l'évaluation hédonique de fromages cottage

Source de variation	d_l	S_C	CM	F
Marques	3	50,39	16,80	5,69**
Dégustateurs	40	183,99	4,60	1,56*
Erreur	120	354,11	2,95	
Total	163	588,49		

* $P \leq 0{,}05$; ** $P \leq 0{,}01$.

Tableau 18 Moyennes et erreur type de la moyenne ($E.T._m$) du pointage de quatre marques de fromages cottage

Moyenne de chaque marque				
C	A	B	D	$E.T._m$
6,8 a	6,3 a	6,2 ab	5,3 b	0,27

Les résultats montrent que les dégustateurs ont préféré nettement les marques C et A à la marque D (essai de Tukey). Les moyennes des deux premières marques sont respectivement de 6,8 et de 6,3, qui correspondent aux degrés « modérément plaisant » (note de 7) et « légèrement plaisant » (note de 6) de l'échelle hédonique, tandis que le pointage de 5,3 attribué à la marque D correspond à l'affirmation « ni plaisant ni déplaisant » (note de 5). À noter que la différence entre la marque B et la marque D devient notable à $P = 0,05$.

Essai de classement

Dans cet essai, le dégustateur doit évaluer au moins trois échantillons codés et les classer en ordre ascendant ou descendant de préférence ou d'attirance. On doit assigner un rang à chaque échantillon : aucune égalité n'est permise. On peut demander aux dégustateurs de classer les échantillons selon leurs préférences globales ou selon une caractéristique précise telle que la couleur ou la flaveur.

Coder et présenter les échantillons de façon identique. Répartir au hasard l'ordre de présentation des échantillons à chaque dégustateur et préciser cet ordre sur la fiche d'évaluation. Servir les échantillons simultanément pour permettre les comparaisons nécessaires au classement.

Faire la somme des rangs attribués à chaque traitement et vérifier la signification des résultats au moyen de l'essai de classement des données de Friedman. Comparer les différences entre toutes les paires possibles de rangs (voir « Essai de classement de Friedman » sous le titre « Essais de discrimination » pour de plus amples détails.)

Les traitements seront classés dans l'ordre ascendant ou descendant de préférence ou d'attirance, mais les valeurs n'indiquent pas le degré de différence ou l'écart entre les traitements. En outre, en raison de la nature relative du rang, les valeurs attribuées à un ensemble d'échantillons ne peuvent pas être comparées directement à celles d'un autre ensemble, à moins que les deux ensembles ne contiennent que les mêmes traitements. Voici un exemple de fiche d'évaluation et d'essai de classement.

FICHE DE CLASSEMENT

PRODUIT : tablettes de chocolat

NOM _____ DATE _____

Veuillez classer ces tablettes de chocolat selon l'ordre décroissant d'acceptabilité. La tablette la plus acceptable est classée la première et la moins acceptable la quatrième. Ne pas attribuer le même rang à deux échantillons.

Évaluer les tablettes de chocolat dans l'ordre suivant :

	551	*398*	*463*	*821*
	Rang		*Code de l'échantillon*	
La plus acceptable	1re		_____	
	2e		_____	
	3e		_____	
La moins acceptable	4e		_____	

Observations :

Exemple On s'est servi d'un essai de classement pour déterminer l'ordre d'acceptabilité de quatre tablettes de chocolat fourrées de quantités variables de caramel. Quarante dégustateurs se sont prononcés sur les échantillons. Les rangs attribués à chaque tablette ont été additionnés.

On utilise l'essai de Friedman en l'appliquant aux données qu'a reçu un rang pour analyser les résultats.

T = {12/[nombre de dégustateurs × nombre de traitements × (nombre de traitements + 1)]} × (somme des carrés des rangs de chaque traitement) – 3 (nombre de dégustateurs)(nombre de traitements + 1)

= $[12/(40)(4)(5)][41^2 + 84^2 + 127^2 + 151^2] - 3(40)(5)$

= 115,01

La valeur calculée de T est de 115,01, ce qui est supérieur à la valeur du χ^2 avec 3 degrés de liberté pour $\alpha = 0{,}05$, soit 7,81 (table statistique 6). Nous concluons donc qu'il y a une différence notable d'acceptabilité entre les échantillons ($P \leq 0{,}05$). La plus petite différence notable est déterminée au moyen de la table statistique 7, de la façon décrite auparavant (voir « Essai de classement de Friedman » sous le titre « Essais de discrimination »).

$$\text{M.D.S.} = 3{,}63\sqrt{[\text{Nbre de dég.} \times \text{nbre de trait.} \times (\text{nbre de trait.} + 1)]/12}$$

$$= 29{,}6$$

Deux traitements dont la somme respective des rangs diffère par plus de 29,6 sont notablement différents (tableau 19).

Tableau 19 Somme des rangs attribués à quatre tablettes de chocolat

Tablettes de chocolat	Somme des rangs[1]	Rang moyen
A	41a	1,0
B	84b	2,1
C	127c	3,2
D	151c	3,8

[1] Les sommes des rangs suivies de la même lettre ne sont pas notablement différentes ($P > 0{,}05$).

Les résultats montrent que la tablette A a été la plus acceptable, que la tablette B s'est classée au deuxième rang, tandis que les tablettes C et D étaient les moins acceptables et ne différaient pas entre elles.

Rapport d'analyse sensorielle

Dans toute étude ou expérience, la communication fidèle et complète des résultats est essentielle pour que ces derniers trouvent quelque utilité. Tout rapport devrait renfermer suffisamment de détails pour permettre :

- au lecteur de comprendre l'étude, de juger du caractère approprié du mode opératoire et d'évaluer la fiabilité des résultats;
- la répétition de l'étude;
- la comparaison interlaboratoire et intralaboratoire des résultats (Prell, 1976).

Le procès-verbal s'ordonne selon le plan suivant : titre, résumé ou synopsis, introduction, méthode expérimentale, résultats et discussion, conclusions, références. Pour plus de renseignements et d'exemples réels, consulter Prell (1976), Larmond (1981) ainsi que Meilgaard *et al.* (1987*b*).

Titre

Le premier renseignement nécessaire est le titre donné au travail ou à l'expérience, le nom des auteurs, l'endroit où ceux-ci travaillent (affiliation professionnelle) et le moment où le travail a été effectué.

Résumé ou synopsis

Si le procès-verbal ou rapport est destiné à être publié dans un périodique scientifique, insérer un résumé ou un synopsis, en général de 100 à 200 mots (selon les instructions données par le périodique). Dans le résumé, exposer l'objet de l'expérience, décrire celle-ci brièvement, communiquer les principales observations, la signification des résultats et les conclusions. Même si le rapport n'est pas destiné à être publié, un court résumé peut être utile aux lecteurs, particulièrement à ceux qui n'ont pas de formation technique de base, comme les gestionnaires.

Introduction

Dans cette partie, exposer clairement le but des travaux de même que l'objectif de chaque essai qui en fait partie. Préciser l'objet de l'enquête ou cerner le problème à résoudre, par exemple mise au point d'un produit, appariement de produits, amélioration d'un produit, stabilité à l'entreposage, etc. Commenter ou citer tout travail antérieur utile.

Méthode expérimentale

Décrire les méthodes d'analyse sensorielle et d'analyse statistique utilisées. Donner suffisamment de détails sur la méthode et le matériel pour permettre la répétition du travail. Toujours citer les méthodes acceptées au moyen de références convenables et complètes. L'utilisation de sous-titres peut aider à clarifier la démonstration, ce qui rend les renseignements plus utiles, par exemple :

Plan d'expérience Décrire le plan statistique utilisé (par exemple plan en blocs aléatoires, en blocs incomplets ou de split-plot); les mesures effectuées (c'est-à-dire sensorielles, chimiques et physiques); les facteurs et leur intensité; le nombre de répétitions. Préciser également les limites du plan d'expérience, telles le fait que certains lots seulement ont pu être échantillonnés.

Méthode sensorielle Identifier la ou les méthodes sensorielles utilisées et fournir les références appropriées, telles que l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'*American Society for Testing and Materials* (ASTM) ou les articles tirés de périodiques scientifiques qui possèdent des comités de lecture.

Jury Donner l'origine des membres du jury (jury interne ou recruté à l'extérieur de l'organisation) ainsi que leur nombre. Si les dégustateurs ont été formés, donner les détails de la méthode de sélection et de formation. Les renseignements portant sur la composition du jury tels que l'âge et le sexe, sont habituellement importants lorsque les essais sont subjectifs.

Conditions d'ambiance Décrire les locaux où ont eu lieu les évaluations (c'est-à-dire en laboratoire, dans un centre commercial ou au foyer) ainsi que l'éclairage utilisé. Fournir d'autres renseignements tels que la température ambiante ou les causes possibles de distraction (par exemple odeurs et bruit).

Préparation et présentation des échantillons Donner des précisions sur le matériel, la ou les méthodes qui ont servi à la préparation des échantillons (par exemple, fours électriques, durée de cuisson et température). Préciser la nature des codes utilisés (c'est-à-dire, codes aléatoires à trois chiffres), l'ordre de présentation, la grosseur des portions, la matière de support ou le diluant, la température, les récipients, les ustensiles utilisés, le moment de la journée, les instructions spéciales données au jury, l'intervalle de temps entre les présentations, le ou les rince-bouche, le fait que les échantillons ont été avalés ou crachés et d'autres conditions qui ont été contrôlées ou qui pourraient influer sur les résultats.

Techniques d'analyse statistique Décrire comment les pointages ou les chiffres ont été tirés des réponses des dégustateurs afin de permettre l'analyse des données. Expliquer le type d'analyses statistiques utilisées.

Résultats et discussion

Présenter les résultats de façon claire et concise, en résumant les données utiles, mais en en donnant suffisamment pour justifier les conclusions. Lorsqu'on traite de la signification des essais, préciser le degré de probabilité, le nombre de degrés de liberté, la valeur calculée du coefficient statistique (F, χ^2, t, etc.), ainsi que le sens dans lequel s'exercent les effets. Outre les descriptions, utilisez des tableaux ou des figures pour présenter les résultats, mais évitez de présenter le même renseignement deux fois. Les tableaux peuvent servir à communiquer les résultats de l'analyse de la variance, les moyennes des traitements et les erreurs types de ces moyennes.

Souvent, on comprend mieux les données et leur interprétation est plus facile, si on les présente dans des diagrammes et des graphiques. La figure 11 est un exemple de répartition de fréquences présentée sous forme d'histogramme. Si on ne fait que mentionner le pointage moyen de 6, qui correspond, sur l'échelle hédonique, à l'affirmation « légèrement plaisant », le lecteur ne peut pas saisir tout le contexte. Par contre, l'histogramme montre que, effectivement, on se trouve devant deux groupes de consommateurs, un qui, le plus souvent, juge légèrement déplaisant le produit et lui donne le pointage de 4; un deuxième groupe qui, le plus souvent, trouve le produit très plaisant et lui donne un pointage de 8. Dans ce cas, la visualisation des résultats renseigne plus que la seule communication de la moyenne.

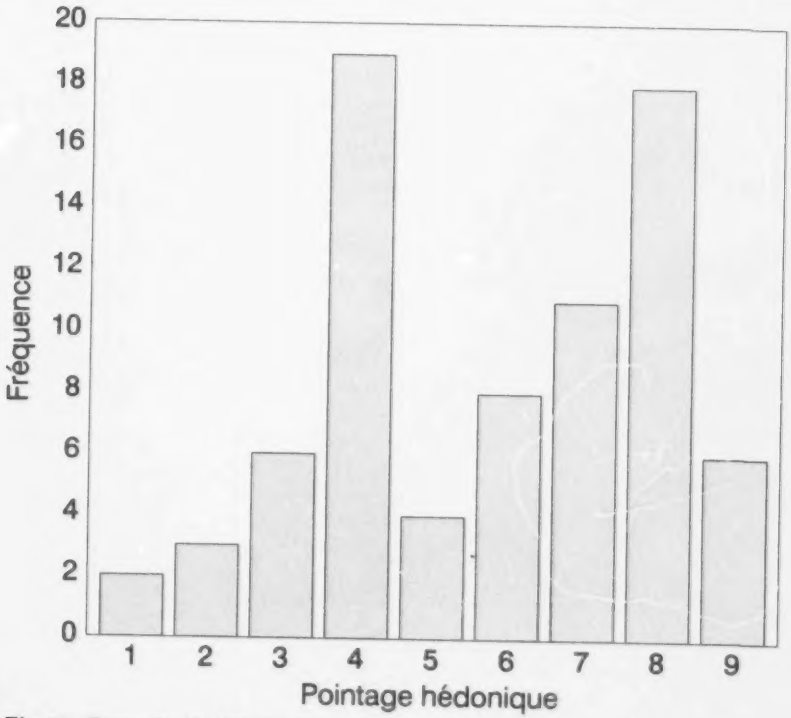


Fig. 11 Exemple d'histogramme

La figure 12 est un exemple des résultats présentés sous forme graphique. Un jury de 10 dégustateurs formés à cette tâche a évalué l'intensité de l'aigreur d'une limonade à laquelle on a ajouté des quantités variables de sucrose. L'aigreur moyenne est présentée en fonction des concentrations de sucrose. Les segments, qui représentent l'erreur type, servent à donner une idée de la variabilité des pointages. Le graphique montre très facilement la diminution brusque de la perception de l'aigreur lorsqu'on passe de 0 à 4 % de sucrose ajouté, la diminution étant beaucoup plus graduelle lorsqu'on passe de 4 à 8 %.

Ces moyens ne sont que quelques exemples de la façon de présenter des résultats. Il pourrait être nécessaire d'essayer diverses présentations avant de décider celle qui convient le mieux au rapport. S'efforcer de présenter des tableaux, des graphiques ou des diagrammes qui soient simples et dégagés. Quelle que soit la forme de présentation, les données bien ordonnées en tableaux ou bien dessinées en graphiques facilitent, chez le chercheur, la compréhension des résultats d'une expérience et peuvent également aider à les communiquer.

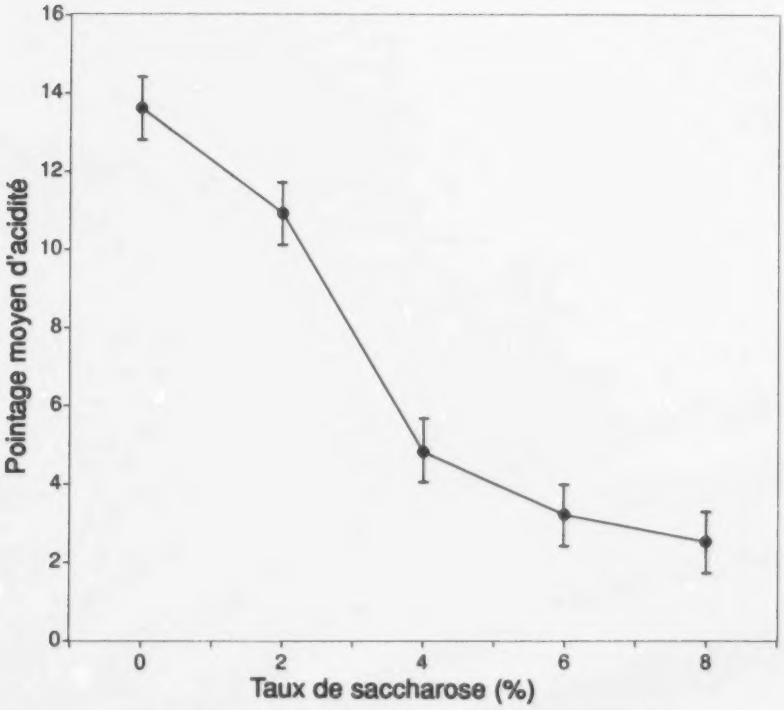


Fig. 12 Exemple de présentation des résultats sous forme graphique

Il faut interpréter, comparer et mettre en évidence les résultats (Prell, 1976). Dans la discussion, on devrait préciser l'importance théorique et pratique des résultats et relier les résultats obtenus à tout résultat antérieur, si c'est possible. Il est mieux de présenter les résultats dans l'ordre de leur obtention au cours de l'étude.

Conclusions

Inclure un paragraphe final renfermant les conclusions tirées de l'étude. Être bref et clair. C'est aussi le moment de recommander des études ultérieures.

Références

Si vous avez consulté et cité des auteurs, donnez la liste bibliographique complète pour permettre au lecteur de retrouver l'information souhaitée. Consultez les lignes directrices de revues spécialisées pour avoir un exemple de présentation de vos références et les renseignements dont vous avez besoin.

Références

American Meat Science Association. 1978. Guidelines for cookery and sensory evaluation of meat. AMSA, Chicago, Ill. 24 pp.

American Society for Testing and Materials. 1968. Manual on sensory testing methods. ASTM STP 434. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. 77 pp.

American Society for Testing and Materials. 1981. Guidelines for the selection and training of sensory panel members. ASTM STP 758. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. 35 pp.

American Society for Testing and Materials. 1986. Physical requirement guidelines for sensory evaluation laboratories. ASTM STP 913. Eggert, J.; Zook, K., eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. 54 pp.

Amerine, M.A.; Pangborn, R.M.; Roessler, E.B. 1965. Principles of sensory evaluation of food. Academic Press, New York, N.Y. 602 pp.

Brandt, M.A.; Skinner, E.; Coleman, J. 1963. Texture profile method. J. Food Sci. 28:404–410.

Butler, G.; Poste, L.M.; Wolynetz, M.S.; Agar V.E.; Larmond, E. 1987. Alternative analyses of magnitude estimation data. J. Sensory Stud. 2:243–257.

Cairncross, W.E.; Sjostrom, L.B. 1950. Flavor profile - A new approach to flavor problems. Food Technol. 4:308–311.

Caul, J.F. 1957. The profile method of flavor analysis. Adv. Food Res. 7:1–40.

Civille, G.V.; Szczesniak, A.S. 1973. Guidelines to training a texture profile panel. J. Texture Stud. 4:204–233.

Cochran, W.G.; Cox, G.M. 1957. Experimental design. John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y. 611 pp.

Dravnieks, A. 1985. Atlas of odor character profiles. ASTM DS 61. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. 453 pp.

Dunnett, C.W. 1955. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. J. Am. Stat. Assoc. 50:1096–1121.

Dunnett, C.W. 1964. New tables for multiple comparisons with a control. Biometrics 20:482–491.

Ellis, B.H. 1961. A guide book for sensory testing. Continental Can. Co., Chicago, Ill. 55 pp.

Fisher, R.A.; Yates, F. 1974. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. 6e édition. Oliver and Boyd Ltd., Edinburgh. 112 pp.

Gacula, M.C. 1978. Analysis of incomplete block designs with reference samples in very block. J. Food Sci. 43:1461–1466.

Gacula, M.C., Jr.; Singh, J. 1984. Statistical methods in food and consumer research. Academic Press. Orlando, Fla. 505 pp.

Gridgeman, N.T. 1959. Pair comparison, with and without ties. Biometrics 15:382–388.

Hollander, M.; Wolfe, D.A. 1973. Non parametric statistical methods. John Wiley and Sons Inc., New York, N.Y. 503 pp.

Institute of Food Technologists. 1975. Minutes of Sensory Evaluation Div. business meeting at 35th Ann. Meet., Inst. of Food Technologists, Chicago, June 10.

International Organization for Standardization. 1985. Sensory analysis—General guidance for the design of testing facilities. DP 8589. (Analyse sensorielle—Directives générales pour la conception de locaux destinés à l'analyse)

Kroll, B.J.; Pilgrim, F.J. 1961. Sensory evaluation of accessory foods with and without carriers. J. Food Sci. 26:122–124.

Larmond, E. 1981. Better reports of sensory evaluation. Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am. 18(1):7–10.

Little, T.M. 1978. If Galileo published in Hort. Science. Hortic. Sci. 13:504–506.

Marshall, S.G.; Vaisey, M. 1972. Sweetness perception in relation to some textural characteristics of hydrocolloid gels. J. Texture Stud. 3:173–185.

Meilgaard, M.; Civille, G.V.; Carr, B.T. 1987*a*. Sensory evaluation techniques. Vol. I, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. 159 pp.

Meilgaard, M., Civille, G.V.; Carr, B.T. 1987*b*. Sensory evaluation techniques. Vol. II, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. 159 pp.

Moskowitz, H. 1988*a*. Applied sensory analysis of foods. Vol. I, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. 259 pp.

Moskowitz, H. 1988*b*. Applied sensory analysis of foods. Vol. II, CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. 180 pp.

Muñoz, A. 1986. Development and application of texture reference scales. J. Sensory Stud. 1:55–83.

Newell, G.J.; MacFarlane, J.D. 1987. Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis of ranked data. J. Food Sci. 52(6):1721–1725.

O'Mahony, M. 1986. Sensory evaluation of food: Statistical methods and Procedures. Tannenbaum, S.R.; Walstra, P. eds. Marcel Dekker, New York, N.Y. 487 pp.

Pangborn, R.M. 1980. Sensory science today. Cereal Foods World 25(10):637–640.

Pangborn, R.M.; Szczesniak, A.S. 1974. Effect of hydrocolloids and viscosity on flavour and odour intensities of aromatic flavour compounds. J. Texture Stud. 4:467–482.

Peryam, D.R.; Girardot, N.F. 1952. Advanced taste test method. Food Eng. (N.Y.) 24:58–61.

Petersen, R. 1977. Use and misuse of multiple comparison procedures. Agron. J. 69:205–208.

Prell, P.A. 1976. Preparation of reports and manuscripts which include sensory evaluation data. Food Technol. novembre 40–46.

Roessler, E.B.; Pangborn, J.I.; Sidel, J.L.; Stone, H. 1978. Expanded statistical tables for estimating significance in paired-preference, paired difference, duo-trio and triangle tests. J. Food Sci. 43:940–943.

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1989. Statistical methods. 8e édition. Iowa State University Press, Ames, Iowa. 507 pp.

Steel, R.G.D.; Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. 2e édition. McGraw-Hill Book Co. New York, N.Y. 633 pp.

Stevens, S.S. 1956. The direct estimation of sensory magnitude - Loudness. Am. J. Psychol. 69:1–25.

Stone, H.; Sidel, J.L. 1985. Sensory evaluation practices. Schweigart, B.S.; Stewart, G.F. eds. Academic Press, Inc., Orlando, Fla. 311 pp.

Stone, H.H.; Sidel, J.; Oliver, S.; Woolsey, A.; Singleton, R.C. 1974. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. Food Technol. 28(11):24–31.

Szczesniak, A.S. 1963. Classification of textural characteristics. J. Food Sci. 28:385–389.

Szczesniak, A.S.; Brandt, M.A.; Friedman, H.H. 1963. Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and the sensory methods of texture evaluation. J. Food Sci. 28:397–403.

ANNEXES

Table statistique 1 Table de répartition au hasard, permutations de neuf chiffres

98119	47634	62128	74824	26316	69967	99242
42293	62781	39637	56945	93661	35153	26837
71926	19563	58873	41611	12194	24228	17798
17455	58857	11764	19452	57975	47815	52523
66834	25245	27285	25299	71782	88679	34114
29662	83196	93516	32777	64843	92581	73375
35341	74918	44949	93188	85428	71742	68486
84787	96479	76491	68563	38259	16396	81659
53578	31322	85352	87336	49537	53434	45961
24814	99952	56378	32381	21148	97297	72848
52498	87383	22131	69919	15466	36866	98794
71675	78536	73495	27778	77622	55159	51263
98581	33164	49769	86257	88255	72928	85426
37137	45775	97913	51435	93913	14312	16975
63226	16691	38586	93122	54874	29581	44112
86349	64849	61622	15644	62331	63645	39681
19752	22217	85847	48893	46597	48774	63557
45963	51428	14254	74566	39789	81433	27339
35951	41886	65455	39863	86891	26531	12772
62737	28622	97744	94399	65615	71385	36396
93289	53491	21397	16212	98532	12463	83527
57693	75743	49661	77747	54358	44124	59213
74862	87515	54246	43585	19779	87859	64959
19174	39259	33113	82151	47924	59642	75834
86518	66168	12838	25974	31147	93998	41141
48426	14937	88522	68628	73483	38217	97468
21345	92374	76989	51436	22266	65776	28685
46622	22565	57564	62716	48346	22575	76356
32234	77979	61291	19143	19222	98313	54127
25553	66127	89656	47931	84577	46781	43718
14871	33813	48879	33229	37769	79698	38599
91485	98384	23448	75582	95118	67862	82865
57997	15656	36185	56864	21884	53946	61484
78366	84292	74722	28657	76693	84137	99632
63148	49438	15937	81498	52455	31229	17273
89719	51741	92313	94375	63931	15454	25941
85392	17996	58885	38247	84138	71165	44722
72575	99477	91117	93856	77347	82872	29147
51457	72341	72394	47919	62519	34731	82898
96724	46815	23931	75785	95794	15923	57213
48683	28624	46578	52168	11983	99488	61586
64968	51183	64763	19332	33622	27299	73355
27846	64569	85256	81471	49461	58617	95634
19211	35232	19449	26624	58256	66356	18461
33139	83758	37622	64593	26875	43544	36979

(à suivre)

Table statistique (*suite et fin*)

42659	14978	74643	21224	33681	47164	99323
68131	96442	21839	59659	22718	79895	24254
36478	75184	92278	74478	19924	63749	61566
14824	37556	35982	63737	45539	56252	46132
79966	61713	57561	85393	54495	38978	73771
95313	43327	16415	42881	97242	84586	58488
21585	82635	43154	16545	86363	91337	82695
53797	28899	69727	38112	61157	12611	37847
87242	59261	88396	97966	78876	25423	15919
16383	72679	78165	11448	12781	89769	75817
22898	25526	34851	48721	65122	95142	39438
87751	97953	43779	55296	27956	53894	62683
35614	36891	15414	87175	88867	72978	84774
93275	41737	91937	24934	79478	36256	17991
44946	18212	22682	79363	46615	24425	26256
78167	54368	69326	36587	34349	68617	91365
61439	89445	56293	92612	91594	41581	58129
59522	63184	87548	63859	53233	17333	43542
49661	11831	37549	97499	94883	32513	95688
53196	68259	65492	28563	21942	86426	81796
86857	75113	73927	69736	86511	95998	73811
37442	22945	91338	12117	39629	48254	12377
98339	49672	86783	81928	17356	53331	29969
24714	33386	29114	36371	42134	69875	54255
15928	96568	14661	55252	75467	11189	47432
71583	54794	58875	74885	53795	27767	38544
62275	87427	42256	43644	68278	74642	66123
31727	54363	98644	86696	58126	54111	12173
22588	96555	31488	39317	73757	67449	37334
15869	22124	49991	13468	84674	28392	89592
63276	85881	75722	45251	12565	72976	44247
98414	73738	64539	57729	36299	46527	76481
57633	41279	52277	94144	21331	19263	23856
46155	17446	13115	68983	67448	33855	98668
84991	39692	86853	21575	45912	85738	51719
79342	68917	27366	72832	99883	91684	65925
92495	48448	19485	27965	98734	38213	35326
11813	86599	27677	68698	22229	14862	28984
39557	24933	81923	76577	67867	25957	14118
86672	69156	96531	11751	83458	93428	51672
75339	73687	68254	34146	59592	62575	69737
24921	97224	42748	83432	46971	77696	72261
43784	51812	73399	99219	31113	89734	43549
68166	35771	55116	52383	15686	46389	86495
57248	12365	34862	45824	74345	51141	97853

Table statistique 2 Essai triangulaire, table de probabilités de x jugements justes ou plus en n essais (essai unilatéral à $p = 1/3$)[a]

n \ x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
5		868	539	210	045	004																							
6		912	649	320	100	018	001																						
7		941	737	429	173	045	007																						
8		961	805	532	259	088	020	003																					
9		974	857	623	350	145	042	008	001																				
10		983	896	701	441	213	077	020	003																				
11		988	925	766	527	289	122	039	009	001																			
12		992	946	819	607	368	178	066	019	004	001																		
13		995	961	861	678	448	241	104	035	009	002																		
14		997	973	895	739	524	310	149	058	017	004	001																	
15		998	981	921	791	596	382	203	088	031	008	002																	
16		998	986	941	834	661	453	263	126	050	016	004	001																
17		999	990	956	870	719	522	326	172	075	027	008	002																
18		999	993	967	898	769	588	391	223	108	043	014	004	001															
19			995	976	921	812	648	457	279	146	065	024	007	002															
20			997	982	940	848	703	521	339	191	092	038	013	004	001														
21			998	987	954	879	751	581	399	240	125	056	021	007	002														
22			998	991	965	904	794	638	460	293	163	079	033	012	003	001													
23			999	993	974	924	831	690	519	349	206	107	048	019	006	002													
24			999	995	980	941	862	737	576	406	254	140	068	028	010	003	001												
25			999	996	985	954	888	778	630	462	304	178	092	042	016	006	002												
26				997	989	964	910	815	679	518	357	220	121	058	025	009	003	001											
27				998	992	972	928	847	725	572	411	266	154	079	036	014	005	002											
28				999	994	979	943	874	765	623	464	314	191	104	050	022	008	003	001										
29				999	996	984	955	897	801	670	517	364	232	133	068	031	013	005	001										
30				999	997	988	965	916	833	714	568	415	276	166	090	043	019	007	002	001									
31					998	991	972	932	861	754	617	466	322	203	115	059	027	011	004	001									
32					998	993	978	946	885	789	662	516	370	243	144	078	038	016	006	002	001								
33					999	995	983	957	905	821	705	565	419	285	177	100	051	023	010	004	001								
34					999	996	987	965	922	849	744	612	468	330	213	126	067	033	014	006	002	001							
35					999	997	990	973	937	873	779	656	516	376	252	155	087	044	020	009	003	001							
36						998	992	978	949	895	810	697	562	422	293	187	109	058	028	012	005	002	001						
37						998	994	983	959	913	838	735	607	469	336	223	135	075	038	018	007	003	001						
38						999	996	987	967	928	863	769	650	515	381	261	164	095	051	025	011	004	002	001					
39						999	997	990	973	941	885	800	689	560	425	301	196	118	066	033	016	007	003	001					
40						999	997	992	979	952	903	829	726	603	470	342	231	144	083	044	021	010	004	001					
41							998	994	983	961	920	854	761	644	515	385	268	173	104	057	029	014	006	002	001				
42							999	995	987	968	933	876	791	683	558	428	307	205	127	073	038	019	008	003	001				
43							999	996	990	974	945	895	820	719	600	471	347	239	153	091	050	025	012	005	002	001			
44							999	997	992	980	955	912	845	753	639	514	389	275	182	111	063	033	016	007	003	001			
45							999	998	994	984	963	926	867	783	677	556	430	313	213	135	079	043	022	010	004	002	001		
46								998	995	987	970	938	887	811	713	596	472	352	246	161	098	055	029	014	006	003	001		
47								999	996	990	976	949	904	836	745	635	514	392	282	189	119	070	038	019	009	004	002	001	
48								999	997	992	980	958	919	859	776	672	554	433	318	220	142	086	048	025	012	006	002	001	
49								999	998	994	984	965	932	879	803	706	593	473	356	253	168	105	061	033	017	008	003	001	
50								999	998	995	987	972	943	896	829	739	631	513	395	287	196	126	076	042	022	011	005	002	001

[a] Le zéro et la virgule décimale qui le suit ont été omis.

Source : D'après E.B. Roessler et al., 1978. J. Food Sci. 43(3):942–943. ©Institute of Food Technologists. Reproduit avec la permission de l'éditeur.

Table statistique 3 Essai avec deux échantillons, table de probabilités de x jugements concordants ou plus en n essais (essai bilatéral à $p = 1/2$)[a]

n \ x	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
5	625	312	062																																
6		688	219	031																															
7			453	125	016																														
8			727	289	070	008																													
9				508	180	039	004																												
10				754	344	109	021	002																											
11					549	227	065	011	001																										
12					774	388	146	039	006																										
13						581	267	062	022	003																									
14						791	424	180	057	013	002																								
15							607	302	118	035	007	001																							
16							804	454	210	077	021	004	001																						
17								629	332	143	049	013	002																						
18								815	481	238	096	031	008	001																				
19									648	359	167	064	019	004	001																			
20									824	503	263	115	041	012	003																			
21										664	383	189	078	027	007	001																	
22										832	523	286	134	052	017	004	001																
23											678	405	210	093	035	011	003																
24											839	541	302	152	064	023	007	002															
25												690	424	230	108	043	015	004	001														
26												845	557	327	169	076	029	009	002	001													
27													701	442	248	122	052	019	006	002													
28													851	572	345	185	087	036	013	004	001												
29														711	458	265	136	061	024	008	002	001											
30														856	585	362	200	099	043	016	005	001											
31															720	473	281	150	071	030	011	003	001										
32															860	597	377	215	100	050	020	007	002	001									
33																728	487	296	163	080	035	014	005	001									
34																864	608	392	229	121	058	024	009	003	001								
35																	736	500	310	175	090	041	017	006	002								
36																	868	681	405	243	132	065	029	011	004	001							
37																		743	511	324	188	099	047	020	008	003	001						
38																		871	627	418	256	143	073	034	014	005	002						
39																			749	522	337	200	108	053	024	009	003	001					
40																			875	636	430	268	154	081	038	017	006	002	001				
41																				755	533	349	211	117	060	028	012	004	001				
42																				878	644	441	280	164	088	044	020	008	003	001			
43																					761	542	360	222	126	066	032	014	005	002	001		
44																					880	652	451	291	174	096	049	023	010	004	001		
45																						766	551	371	233	135	072	036	016	007	002	001	
46																						883	659	461	302	184	104	054	026	011	005	002	001
47																							771	560	382	243	144	079	040	019	008	003	001	
48																							885	665	471	312	193	111	069	029	013	006	002	001
49																								775	568	392	253	152	085	044	021	009	004	001
50																								888	672	480	322	203	119	065	033	015	007	003	001

[a] Le zéro et la virgule décimale qui le suit ont été omis.

Source : D'après E.B. Roessler et al., 1978. J. Food Sci. 43(3):942–943. ©Institute of Food Technologists. Reproduit avec la permission de l'éditeur.

Table statistique 4 Essai avec deux échantillons, table de probabilités de x jugements justes ou plus en n essais (essai unilatéral à $p = 1/2$)[a]

n \ x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
5		969	812	500	188	031																															
6		984	891	656	344	109	016																														
7		992	938	773	500	227	062	008																													
8		996	965	855	637	363	145	035	004																												
9		998	980	910	746	500	254	090	020	002																											
10		999	989	945	828	623	377	172	055	011	001																										
11			994	967	887	726	500	274	113	033	006																										
12			997	981	927	806	613	387	194	073	019	003																									
13			998	989	954	867	709	500	291	133	046	011	002																								
14			999	994	971	910	788	605	395	212	090	029	006	001																							
15				996	982	941	849	696	500	304	151	059	018	004																							
16				998	989	962	895	773	598	402	227	105	038	011	002																						
17				999	994	975	928	834	685	500	315	166	072	025	006	001																					
18				999	996	985	952	881	760	593	407	240	119	048	015	004	001																				
19					998	990	968	916	820	676	500	324	180	084	032	010	002																				
20					999	994	979	942	868	748	588	412	252	132	058	021	006	001																			
21					999	996	987	961	905	808	668	500	332	192	095	039	013	004	001																		
22						998	992	974	933	857	738	584	416	262	143	067	026	008	002																		
23						999	995	983	953	895	798	661	500	339	202	105	047	017	005	001																	
24						999	997	989	968	924	846	729	581	419	271	154	076	032	011	003	001																
25							998	993	978	946	885	788	655	500	345	212	115	054	022	007	002																
26							999	995	986	962	916	837	721	577	423	279	163	084	038	014	005	001															
27							999	997	990	974	939	876	779	649	500	351	221	124	061	026	010	003	001														
28								998	994	982	956	908	828	714	575	425	286	172	092	044	018	006	002														
29								999	996	988	969	932	868	771	644	500	356	229	132	068	031	012	004	001													
30								999	997	992	979	951	900	819	708	572	428	292	181	100	049	021	008	003	001												
31									998	995	985	965	925	859	763	640	500	360	237	141	075	035	015	005	002												
32									999	997	990	975	945	892	811	702	570	430	298	189	108	055	025	010	004	001											
33									999	998	993	982	960	919	852	757	636	500	364	243	148	081	040	018	007	002											
34										999	995	988	971	939	885	804	696	568	432	304	196	115	061	029	012	005	002										
35										999	997	992	980	955	912	845	750	632	500	368	250	155	088	045	020	008	003	001									
36										999	998	994	986	967	934	879	797	691	566	434	309	203	121	066	033	014	006	002	001								
37											999	996	990	976	951	906	838	744	629	500	371	256	162	094	049	024	010	004	001								
38											999	997	993	983	964	928	872	791	686	564	436	314	209	128	072	036	017	007	003	001							
39											999	998	995	988	973	946	900	832	739	625	500	375	261	168	100	054	027	012	005	002	001						
40												999	997	992	981	960	923	866	785	682	563	437	318	215	134	077	040	019	008	003	001						
41												999	998	994	986	970	941	894	826	734	622	500	378	266	174	106	059	030	014	006	002	001					
42													999	996	990	978	956	918	860	780	678	561	439	322	220	140	082	044	022	010	004	001					
43													999	997	993	984	967	937	889	820	729	620	500	380	271	180	111	063	033	016	007	003	001				
44													999	998	995	989	976	952	913	854	774	674	560	440	326	226	146	087	048	024	011	005	002	001			
45														999	997	992	982	964	932	884	814	724	617	500	383	276	186	116	068	036	018	008	003	001			
46														999	998	994	987	973	948	908	849	769	671	558	442	329	231	151	092	052	027	013	006	002	001		
47														999	998	996	991	980	961	928	879	809	720	615	500	385	280	191	121	072	039	020	009	004	002	001	
48															999	997	993	985	970	944	903	844	765	667	557	443	333	235	156	097	056	030	015	007	003	001	
49															999	998	995	989	978	957	924	874	804	716	612	500	388	284	196	126	076	043	022	012	005	002	001
50																999	997	992	984	968	941	899	839	760	664	556	444	336	240	161	101	059	032	016	008	003	001

[a] Le zéro et la virgule décimale qui le suit ont été omis.

Source : D'après E.B. Roessler et al., 1978. J. Food Sci. 43(3):942–943. ©Institute of Food Technologists. Reproduit avec la permission de l'éditeur.

Table statistique 5 Probabilité de x jugements justes ou plus en n essais dans un essai deux-sur-cinq (essai unilatéral à $p = 0{,}1$)[a]

n \ x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	190	010											
3	271	028	001										
4	344	052	004										
5	410	081	009										
6	469	114	016	001									
7	522	150	026	003									
8	570	187	038	005									
9	613	225	053	008	001								
10	651	264	070	013	002								
11	686	303	090	019	003								
12	718	341	111	026	004	001							
13	746	379	134	034	006	001							
14	771	415	158	044	009	001							
15	794	451	184	056	013	002							
16	815	485	211	068	017	003	001						
17	833	518	238	083	022	005	001						
18	850	550	266	098	028	006	001						
19	865	580	295	115	035	009	002						
20	878	608	323	133	043	011	002						
21	891	635	352	152	052	014	003	001					
22	902	661	380	172	062	018	004	001					
23	911	685	408	193	073	023	006	001					
24	920	708	436	214	085	028	007	002					
25	928	729	463	236	098	033	009	002					
26	935	749	489	259	112	040	012	003	001				
27	942	767	515	282	127	047	015	004	001				
28	948	785	541	305	142	055	018	005	001				
29	953	801	565	329	158	064	022	006	002				
30	958	816	589	353	175	073	026	008	002				
31	962	830	611	376	193	083	031	010	003	001			
32	966	844	633	400	211	094	036	012	003	001			
33	969	856	654	423	230	106	042	014	004	001			
34	972	867	674	446	250	119	048	017	005	001			
35	975	878	694	469	269	132	055	020	006	002			
36	977	887	712	491	289	145	063	024	008	002	001		
37	980	896	730	514	309	160	071	027	009	003	001		
38	982	905	746	535	330	175	080	032	011	003	001		
39	984	912	762	556	350	190	089	037	013	004	001		
40	985	920	777	577	371	206	100	042	015	005	001		
41	987	926	791	597	392	223	110	048	018	006	002		
42	988	932	805	616	412	240	121	054	021	007	002	001	
43	989	938	818	635	433	257	133	061	024	009	003	001	
44	990	943	830	653	453	274	146	068	028	010	003	001	
45	991	948	841	671	473	292	159	076	032	012	004	001	
46	992	952	852	688	493	310	172	084	036	014	005	002	
47	993	956	862	704	512	329	186	093	041	016	006	002	001
48	994	960	871	720	531	347	200	102	046	019	007	002	001
49	994	963	880	735	550	365	215	112	052	022	008	003	001
50	995	966	888	750	569	384	230	122	058	025	009	003	001

[a] Le point décimal n'apparaît pas dans ce tableau.

Table statistique 6 Points α supérieurs de probabilité de la distribution χ^2 (les entrées sont $\chi^2_{\alpha:\nu}$)

Instructions: (1) Choisir la rangée qui correspond au nombre de degrés de liberté (ν) pour χ^2.
(2) Choisir la valeur χ^2 dans cette rangée d'après la colonne qui correspond au degré α prédéterminé de proportionnalité.

ν \ α	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,750	0,500	0,250	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7
6	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5
7	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	10,2	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	11,0	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,9	15,3	19,4	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,8	16,3	20,5	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	13,7	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2
19	6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	14,6	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6
20	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	15,5	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0
21	8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	16,3	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4
22	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	17,2	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8
23	9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	18,1	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2
24	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	19,0	23,3	28,2	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6
25	10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	19,9	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9
26	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	20,8	25,3	30,4	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3
27	11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	21,7	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6
28	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	22,7	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0
29	13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	23,6	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3
30	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	24,5	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7

Source : Reproduit avec la permission de Meilgaard, M.; Civille, G. Vance; Carr, Thomas B. 1987. Sensory evaluation techniques. Vol. II. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. 159 pp. ©CRC Press, Inc.

Table statistique 7 Intervalle notable obtenu de la loi *t* de Student au niveau de 5 %

Degrés de liberté	Nombre de traitements, (a)																		
f	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	18,0	26,7	32,8	37,2	40,5	43,1	45,4	47,3	49,1	50,6	51,9	53,2	54,3	55,4	56,3	57,2	58,0	58,8	59,6
2	6,09	8,28	9,80	10,89	11,73	12,43	13,03	13,54	13,99	14,39	14,75	15,08	15,38	15,65	15,91	16,14	16,36	16,57	16,77
3	4,50	5,88	6,83	7,51	8,04	8,47	8,85	9,18	9,46	9,72	9,95	10,16	10,35	10,52	10,69	10,84	10,98	11,12	11,24
4	3,93	5,00	5,76	6,31	6,73	7,06	7,35	7,60	7,83	8,03	8,21	8,37	8,52	8,67	8,80	8,92	9,03	9,14	9,24
5	3,61	4,54	5,18	5,64	5,99	6,28	6,52	6,74	6,93	7,10	7,25	7,39	7,52	7,64	7,75	7,86	7,95	8,04	8,13
6	3,46	4,34	4,90	5,31	5,63	5,89	6,12	6,32	6,49	6,65	6,79	6,92	7,04	7,14	7,24	7,34	7,43	7,51	7,59
7	3,34	4,16	4,68	5,06	5,35	5,59	5,80	5,99	6,15	6,29	6,42	6,54	6,65	6,75	6,84	6,93	7,01	7,08	7,16
8	3,26	4,04	4,53	4,89	5,17	5,40	5,60	5,77	5,92	6,05	6,18	6,29	6,39	6,48	6,57	6,65	6,73	6,80	6,87
9	3,20	3,95	4,42	4,76	5,02	5,24	5,43	5,60	5,74	5,87	5,98	6,09	6,19	6,28	6,36	6,44	6,51	6,58	6,65
10	3,15	3,88	4,33	4,66	4,91	5,12	5,30	5,46	5,60	5,72	5,83	5,93	6,03	6,12	6,20	6,27	6,34	6,41	6,47
11	3,11	3,82	4,26	4,58	4,82	5,03	5,20	5,35	5,49	5,61	5,71	5,81	5,90	5,98	6,06	6,14	6,20	6,27	6,33
12	3,08	3,77	4,20	4,51	4,75	4,95	5,12	5,27	5,40	5,51	5,61	5,71	5,80	5,88	5,95	6,02	6,09	6,15	6,21
13	3,06	3,73	4,15	4,46	4,69	4,88	5,05	5,19	5,32	5,43	5,53	5,63	5,71	5,79	5,86	5,93	6,00	6,06	6,11
14	3,03	3,70	4,11	4,41	4,64	4,83	4,99	5,13	5,25	5,36	5,46	5,56	5,64	5,72	5,79	5,86	5,92	5,98	6,03
15	3,01	3,67	4,08	4,37	4,59	4,78	4,94	5,08	5,20	5,31	5,40	5,49	5,57	5,65	5,72	5,79	5,85	5,91	5,96
16	3,00	3,65	4,05	4,34	4,56	4,74	4,90	5,03	5,15	5,26	5,35	5,44	5,52	5,59	5,66	5,73	5,79	5,84	5,90
17	2,98	3,62	4,02	4,31	4,52	4,70	4,86	4,99	5,11	5,21	5,31	5,39	5,47	5,55	5,61	5,68	5,74	5,79	5,84
18	2,97	3,61	4,00	4,28	4,49	4,67	4,83	4,96	5,07	5,17	5,27	5,35	5,43	5,50	5,57	5,63	5,69	5,74	5,79
19	2,96	3,59	3,98	4,26	4,47	4,64	4,79	4,92	5,04	5,14	5,23	5,32	5,39	5,46	5,53	5,59	5,65	5,70	5,75
20	2,95	3,58	3,96	4,24	4,45	4,62	4,77	4,90	5,01	5,11	5,20	5,28	5,36	5,43	5,50	5,56	5,61	5,66	5,71
24	2,92	3,53	3,90	4,17	4,37	4,54	4,68	4,81	4,92	5,01	5,10	5,18	5,25	5,32	5,38	5,44	5,50	5,55	5,99
30	2,89	3,48	3,84	4,11	4,30	4,46	4,60	4,72	4,83	4,92	5,00	5,08	5,15	5,21	5,27	5,33	5,38	5,43	5,48
40	2,86	3,44	3,79	4,04	4,23	4,39	4,52	4,63	4,74	4,82	4,90	4,98	5,05	5,11	5,17	5,22	5,27	5,32	5,36
60	2,83	3,40	3,74	3,98	4,16	4,31	4,44	4,55	4,65	4,73	4,81	4,88	4,94	5,00	5,06	5,11	5,15	5,20	5,24
120	2,80	3,36	3,69	3,92	4,10	4,24	4,36	4,47	4,56	4,64	4,71	4,78	4,84	4,90	4,95	5,00	5,04	5,09	5,13
∞	2,77	3,32	3,63	3,86	4,03	4,17	4,29	4,39	4,47	4,55	4,62	4,68	4,74	4,80	4,84	4,89	4,93	4,97	5,01

Source : Reproduit avec la permission de Snedecor, G.W.; Cochran, W.G., 1989. Statistical methods. 8e édition. ©Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Table statistique 8 Distribution de *t*

Degrés de liberté	Probabilité de dépassement, signe non indiqué								
f	0,500	0,400	0,200	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005	0,001
1	1,000	1,376	3,078	6,314	12,706	25,452	63,657		
2	0,816	1,061	1,886	2,920	4,303	6,205	9,925	14,089	31,598
3	0,765	0,978	1,638	2,353	3,182	4,176	5,841	7,453	12,941
4	0,741	0,941	1,533	2,132	2,776	3,495	4,604	5,598	8,610
5	0,727	0,920	1,476	2,015	2,571	3,163	4,032	4,773	6,859
6	0,718	0,906	1,440	1,943	2,447	2,969	3,707	4,317	5,959
7	0,711	0,896	1,415	1,895	2,365	2,841	3,499	4,029	5,405
8	0,706	0,889	1,397	1,860	2,306	2,752	3,355	3,832	5,041
9	0,703	0,883	1,383	1,833	2,262	2,685	3,250	3,690	4,781
10	0,700	0,879	1,372	1,812	2,228	2,634	3,169	3,581	4,587
11	0,697	0,876	1,363	1,796	2,201	2,593	3,106	3,497	4,437
12	0,695	0,873	1,356	1,782	2,179	2,560	3,055	3,428	4,318
13	0,694	0,870	1,350	1,771	2,160	2,533	3,012	3,372	4,221
14	0,692	0,868	1,345	1,761	2,145	2,510	2,977	3,326	4,140
15	0,691	0,866	1,341	1,753	2,131	2,490	2,947	3,286	4,073
16	0,690	0,865	1,337	1,746	2,120	2,473	2,921	3,252	4,015
17	0,689	0,863	1,333	1,740	2,110	2,458	2,898	3,222	3,965
18	0,688	0,862	1,330	1,734	2,101	2,445	2,878	3,197	3,922
19	0,688	0,861	1,328	1,729	2,093	2,433	2,861	3,174	3,883
20	0,687	0,860	1,325	1,725	2,086	2,423	2,845	3,153	3,850
21	0,686	0,859	1,323	1,721	2,080	2,414	2,831	3,135	3,819
22	0,686	0,858	1,321	1,717	2,074	2,406	2,819	3,119	3,792
23	0,685	0,858	1,319	1,714	2,069	2,398	2,807	3,104	3,767
24	0,685	0,857	1,318	1,711	2,064	2,391	2,797	3,090	3,745
25	0,684	0,856	1,316	1,708	2,060	2,385	2,787	3,078	3,725
26	0,684	0,856	1,315	1,706	2,056	2,379	2,779	3,067	3,707
27	0,684	0,855	1,314	1,703	2,052	2,373	2,771	3,056	3,690
28	0,683	0,855	1,313	1,701	2,048	2,368	2,763	3,047	3,674
29	0,683	0,854	1,311	1,699	2,045	2,364	2,756	3,038	3,659
30	0,683	0,854	1,310	1,697	2,042	2,360	2,750	3,030	3,646
35	0,682	0,852	1,306	1,690	2,030	2,342	2,724	2,996	3,591
40	0,681	0,851	1,303	1,684	2,021	2,329	2,704	2,971	3,551
45	0,680	0,850	1,301	1,680	2,014	2,319	2,690	2,952	3,520
50	0,680	0,849	1,299	1,676	2,008	2,310	2,678	2,937	3,496
55	0,679	0,849	1,297	1,673	2,004	2,304	2,669	2,925	3,476
60	0,679	0,848	1,296	1,671	2,000	2,299	2,660	2,915	3,460
70	0,678	0,847	1,294	1,667	1,994	2,290	2,648	2,899	3,435
80	0,678	0,847	1,293	1,665	1,989	2,284	2,638	2,887	3,416
90	0,678	0,846	1,291	1,662	1,986	2,279	2,631	2,878	3,402
100	0,677	0,846	1,290	1,661	1,982	2,276	2,625	2,871	3,390
120	0,677	0,845	1,289	1,658	1,980	2,270	2,617	2,860	3,373
∞	0,6745	0,8416	1,2816	1,6448	1,9600	2,2414	2,5758	2,8070	3,2905

Source : Reproduit avec la permission de Snedecor, G.W.; Cochran, W.G., 1989. Statistical methods. 8e édition. © Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Table statistique 9 Rapport des variances—5 points du pourcentage de distribution de F
n_1 : degrés de liberté du numérateur;
n_2 : degrés de liberté du dénominateur.

n_2 \ n_1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	238,9	243,9	249,0	254,3
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,23	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,02	1,83	1,61	1,25
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

(suite)

Table statistique 9 (*fin*) Rapport des variances—1 point du pourcentage de distribution de *F*
n_1 : degrés de liberté du numérateur;
n_2 : degrés de liberté du dénominateur.

n_2 \ n_1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5981	6106	6234	6366
2	98,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,42	99,46	99,50
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,49	27,05	26,60	26,12
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,80	14,37	13,93	13,46
5	16,46	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,29	9,89	9,47	9,02
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,72	7,31	6,88
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,84	6,47	6,07	5,65
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,67	5,28	4,86
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,47	5,11	4,73	4,31
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,71	4,33	3,91
11	9,65	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,74	4,40	4,02	3,60
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,16	3,78	3,36
13	9,07	6,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,30	3,96	3,59	3,16
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,69	4,46	4,14	3,80	3,43	3,00
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,00	3,67	3,29	2,87
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,55	3,18	2,75
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,79	3,45	3,08	2,65
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,37	3,00	2,57
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,63	3,30	2,92	2,49
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,23	2,86	2,42
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,51	3,17	2,80	2,36
22	7,94	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,45	3,12	2,75	2,31
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,41	3,07	2,70	2,26
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,36	3,03	2,66	2,21
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,86	3,63	3,32	2,99	2,62	2,17
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,29	2,96	2,58	2,13
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,26	2,93	2,55	2,10
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,23	2,90	2,52	2,06
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,20	2,87	2,49	2,03
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,84	2,47	2,01
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	2,99	2,66	2,29	1,80
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,82	2,50	2,12	1,60
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,66	2,34	1,95	1,38
∞	6,64	4,60	3,78	3,32	3,02	2,80	2,51	2,18	1,79	1,00

Source : La table 9 est tirée de la table V de Fisher et Yates : 1974 Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, publié par Longman Group UK Ltd., Londres (auparavant publié par Oliver and Boyd Ltd., Édimbourg), avec la permission des auteurs et des éditeurs.

Table statistique 10 Distribution de *t* pour l'essai unilatéral de Dunnett pour comparer la moyenne d'un témoin à chacune des moyennes de *p* autres traitements à probabilité de 5 %

	p, Nombre de moyennes de traitement (à l'exclusion du témoin)								
dl	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	2,02	2,44	2,68	2,85	2,98	3,08	3,16	3,24	3,30
6	1,94	2,34	2,56	2,71	2,83	2,92	3,00	3,07	3,12
7	1,89	2,27	2,48	2,62	2,73	2,82	2,89	2,95	3,01
8	1,86	2,22	2,42	2,55	2,66	2,74	2,81	2,87	2,92
9	1,83	2,18	2,37	2,50	2,60	2,68	2,75	2,81	2,86
10	1,81	2,15	2,34	2,47	2,56	2,64	2,70	2,76	2,81
11	1,80	2,13	2,31	2,44	2,53	2,60	2,67	2,72	2,77
12	1,78	2,11	2,29	2,41	2,50	2,58	2,64	2,69	2,74
13	1,77	2,09	2,27	2,39	2,48	2,55	2,61	2,66	2,71
14	1,76	2,08	2,25	2,37	2,46	2,53	2,59	2,64	2,69
15	1,75	2,07	2,24	2,36	2,44	2,51	2,57	2,62	2,67
16	1,75	2,06	2,23	2,34	2,43	2,50	2,56	2,61	2,65
17	1,74	2,05	2,22	2,33	2,42	2,49	2,54	2,59	2,64
18	1,73	2,04	2,21	2,32	2,41	2,48	2,53	2,58	2,62
19	1,73	2,03	2,20	2,31	2,40	2,47	2,52	2,57	2,61
20	1,72	2,03	2,19	2,30	2,39	2,46	2,51	2,56	2,60
24	1,71	2,01	2,17	2,28	2,36	2,43	2,48	2,53	2,57
30	1,70	1,99	2,15	2,25	2,33	2,40	2,45	2,50	2,54
40	1,68	1,97	2,13	2,23	2,31	2,37	2,42	2,47	2,51
60	1,67	1,95	2,10	2,21	2,28	2,35	2,39	2,44	2,48
120	1,66	1,93	2,08	2,18	2,26	2,32	2,37	2,41	2,45
∞	1,64	1,92	2,06	2,16	2,23	2,29	2,34	2,38	2,42

Source : Reproduit avec la permission du Journal of American Statistical Association— Dunnett, Charles W. 1955. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. J. Am. Stat. Assoc. 50:1096–1121.

Table statistique 11 Distribution de *t* pour l'essai bilatéral de Dunnett afin de comparer la moyenne d'un témoin à chacune des moyennes de *p* autres traitements à la probabilité de 5 %

	p, nombre de traitements moyens (sans étalon)													
dl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
5	2,57	3,03	3,29	3,48	3,62	3,73	3,82	3,90	3,97	4,03	4,09	4,14	4,26	4,42
6	2,45	2,86	3,10	3,26	3,39	3,49	3,57	3,64	3,71	3,76	3,81	3,86	3,97	4,11
7	2,36	2,75	2,97	3,12	3,24	3,33	3,41	3,47	3,53	3,58	3,63	3,67	3,78	3,91
8	2,31	2,67	2,88	3,02	3,13	3,22	3,29	3,35	3,41	3,46	3,50	3,54	3,64	3,76
9	2,26	2,61	2,81	2,95	3,05	3,14	3,20	3,26	3,32	3,36	3,40	3,44	3,53	3,65
10	2,23	2,57	2,76	2,89	2,99	3,07	3,14	3,19	3,24	3,29	3,33	3,36	3,45	3,57
11	2,20	2,53	2,72	2,84	2,94	3,02	3,08	3,14	3,19	3,23	3,27	3,30	3,39	3,50
12	2,18	2,50	2,68	2,81	2,90	2,98	3,04	3,09	3,14	3,18	3,22	3,25	3,34	3,45
13	2,16	2,48	2,65	2,78	2,87	2,94	3,00	3,06	3,10	3,14	3,18	3,21	3,29	3,40
14	2,14	2,46	2,63	2,75	2,84	2,91	2,97	3,02	3,07	3,11	3,14	3,18	3,26	3,36
15	2,13	2,44	2,61	2,73	2,82	2,89	2,95	3,00	3,04	3,08	3,12	3,15	3,23	3,33
16	2,12	2,42	2,59	2,71	2,80	2,87	2,92	2,97	3,02	3,06	3,09	3,12	3,20	3,30
17	2,11	2,41	2,58	2,69	2,78	2,85	2,90	2,95	3,00	3,03	3,07	3,10	3,18	3,27
18	2,10	2,40	2,56	2,68	2,76	2,83	2,89	2,94	2,98	3,01	3,05	3,08	3,16	3,25
19	2,09	2,39	2,55	2,66	2,75	2,81	2,87	2,92	2,96	3,00	3,03	3,06	3,14	3,23
20	2,09	2,38	2,54	2,65	2,73	2,80	2,86	2,90	2,95	2,98	3,02	3,05	3,12	3,22
24	2,06	2,35	2,51	2,61	2,70	2,76	2,81	2,86	2,90	2,94	2,97	3,00	3,07	3,16
30	2,04	2,32	2,47	2,58	2,66	2,72	2,77	2,82	2,86	2,89	2,92	2,95	3,02	3,11
40	2,02	2,29	2,44	2,54	2,62	2,68	2,73	2,77	2,81	2,85	2,87	2,90	2,97	3,06
60	2,00	2,27	2,41	2,51	2,58	2,64	2,69	2,73	2,77	2,80	2,83	2,86	2,92	3,00
120	1,98	2,24	2,38	2,47	2,55	2,60	2,65	2,69	2,73	2,76	2,79	2,81	2,87	2,95
∞	1,96	2,21	2,35	2,44	2,51	2,57	2,61	2,65	2,69	2,72	2,74	2,77	2,83	2,91

Source : Reproduit de Dunnett, C.W. 1964. New tables for multiple comparisons with a control. Biometrics 20:482–491; avec la permission de la Biometric Society.

TABLE DE CONVERSIONS

Pour convertir une unité impériale en unité métrique, il faut multiplier le nombre par le facteur de conversion.

Pour convertir une unité métrique en unité impériale, il faut diviser le nombre par le facteur de conversion.

Unités impériales	Facteurs de conversion	Unités métriques	
Longueur			
pouce	25	millimètre	(mm)
pied	30	centimètre	(cm)
verge	0,9	mètre	(m)
mille	1,6	kilomètre	(km)
Surface			
pouce carré (po^2)	6,5	centimètre carré	(cm^2)
pied carré (pi^2)	0,09	mètre carré	(m^2)
verge carré (v^2)	0,836	mètre carré	(m^2)
mille carré	259	hectare	(ha)
acre	0,40	hectare	(ha)
Volume			
pouce cube	16	centimètre cube	(cm^3, mL, cc)
pied cube	28	décimètre cube	(dm^3)
verge cube	0,8	mètre cube	(m^3)
once liquide	28	millilitre	(mL)
chopine	0,57	litre	(L)
pinte	1,1	litre	(L)
gallon (R.-U.)	4,5	litre	(L)
gallon (É.-U.)	3,8	litre	(L)
Masse			
once	28	gramme	(g)
livre	0,45	kilogramme	(kg)
tonne courte (2000 lb)	0,9	tonne	(t)
Pression			
livres par pouce carré	6,9	kilopascal	(kPa)
Puissance			
cheval-vapeur	746	watt	(W)
	0,75	kilowatt	(kW)
Vitesse			
pieds par seconde	0,30	mètres par seconde	(m/s)
milles par heure (mph)	1,6	kilomètres par heure	(km/h)
Agriculture			
gallons par acre	11,23	litres par hectare	(L/ha)
pintes par acre	2,8	litres par hectare	(L/ha)
chopines par acre	1,4	litres par hectare	(L/ha)
onces liquides par acre	70	millilitres par hectare	(mL/ha)
tonnes par acre	2,24	tonnes par hectare	(t/ha)
livres par acre	1,12	kilogrammes par hectare	(kg/ha)
onces par acre	70	grammes par hectare	(g/ha)
plants par acre	2,47	plants par hectare	
Température			
degrés Fahrenheit	(°F – 32) x 0,56 = °C ou °F = 1,8 (°C) + 32	degrés Celsius	(°C)